

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE
STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE

ZVONIMIR KRAJNIK

ZAŠTITA OD POŽARA U TUNELIMA

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC 2015

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Zvonimir Krajnik

ZAŠTITA OD POŽARA U TUNELIMA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc.Mustapić Nenad, prof. v.š.

Karlovac, 2015

ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE

Studij: STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE

Usmjerenje: ZAŠTITA NA RADU

ZAVRŠNI RAD

Student: Zvonimir Krajnik

Naslov završnog rada: **ZAŠTITA OD POŽARA U TUNELIMA**

Opis zadatka:

1. UVOD
2. OPĆI DIO
3. POSTAVKA ZADATKA
 - a) Linearni sustavi
4. RAZRADA ZADATAKA
 - a) Vatrodojavne centrale
 - b) Javljači požara koji se koriste u tunelima
 - c) Operativni sustavi koji se koriste u zaštiti od požara u tunelima
5. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA
 - a) Postupci koji se poduzimaju da se spriječi daljnje širenje požara
 - b) Taktički nastup i sredstva za gašenje požara
6. ZAKLJUČAK

Zadatak zadan:

09 /2014.

Rok predaje:

04 /2015.

Predviđeni rok obrane:

/2015.

MENTOR :

dr.sc. Mustapić Nenad, prof. v.š.

Predsjednik ispitnog Povjerenstva:

dr.sc. Jovan Vučinić, prof. v.š.

PREDGOVOR

Zahvaljujem se svim profesorima na Odjela sigurnosti i zaštite Veleučilišta u Karlovcu, a posebna zahvala mentoru dr.sc. Mustapić Nenadu, prof. v. š., kao i svim članovima ispitnog povjerenstva određenim za ocjenu i obranu diplomskog rada.

Isto tako koristim priliku da se zahvalim svojim roditeljima na njihovoj podršci, ljubavi i strpljenju tijekom mog školovanja, te se zahvaljujem Vlatki i dragim prijateljima Željki i Igoru.

SAŽETAK

U završnom radu opisuje se zaštita od požara u tunelima. U cestovnom prometnom sustavu posebno mjesto imaju tuneli, koji su građevinski vrlo zahtjevni i zato ih smatramo mjestima povećanog rizika. Isto tako opisuju se sustavi i analiziraju postupci u sustavima za dojavu požara. Korišteni su podaci Hak-a, Tehnomobila, EuroTapa, s ciljem prikaza zaštite od požara i sprječavanja njegovog nastanka. U radu su još i objašnjeni sustavi koji se koriste za zaštitu od požara u tunelima.

SUMMARY

In this degree paper I am writing about fire protection in tunnels. Tunnels hold a special place in road traffic system. From the constructional point of view they are very demanding and therefore are being considered as places of higher risk. Here I will also describe the systems and analyze procedures in the fire reporting systems. To display the fire protection and fire prevention I am using Hak, Tehnomobil and EuroTap data. In this paper there is also an explanation of the systems which are used for fire protection in tunnels.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zakonska regulative zaštite od požara	2
1.2. Zaštita od požara u sustavu zaštite okoliša prostornog uređenja i građenja	3
1.3. Održavanje sustava zaštite od požara	5
2. OPĆI DIO	6
2.1. Vrste sustava za zaštitu od požara u tunelima	6
2.2. Linearni sustavi za dojavu požara	9
2.3. Princip rada linearnog sustava za dojavu požara	9
2.3.1 Linearni sustav za detekciju požara OTS System	10
3. POSTAVKA ZADATKA	13
3.1. Primjena linearnih sustava za dojavu požara u Republici Hrvatskoj	13
3.2. Sustavi za dojavu požara opće primjene	13
4. RAZRADA ZADATKA	15
4.1. Vatrodojavna centrala.....	15
4.2. Adresabilni javljači požara.....	15
4.2.1. Adresabilni optički javljač požara	15
4.2.2. Adresabilni termički javljač požara	16
4.2.3. Adresabilni ručni javljač požara	16
4.3. Sustavi za dojavu požara opće primjene u tunelima.....	16
4.3.1. Centrala za dojavu požara	16
4.3.2. Analogno – adresabilni javljač DM 1134	18
4.3.3. Analogno – adresabilni automatski optičko – termički detektor DOT 1131A.....	18
4.3.3.1. Analogno – adresabilni ulazni modul	19
4.4. Kabelske instalacije u tunelima	20
4.5. Sustav centralnog nadzora i upravljanja MM 8000	21
4.6. Princip rada sustava za dojavu požara u tunelima u Republici Hrvatskoj	23
4.7. Integracija sustava za automatsku dojavu požara sa ostalim sustavima	24
4.7.1. Upravljanje pomoću pridodanih sustava	25
4.7.2. Organizacija integralnog programskog sustava	26
4.7.3. Nivo integracije programskog sustava	26
4.8. Ventilacija u tunelima	27

4.8.1. Vrste ventilacijskih sustava u tunelima	27
4.8.1.1. Prirodna ventilacija u tunelima.....	28
4.8.1.2 Uzdužna ventilacija u tunelima	28
4.8.1.3 Poprečna i polupoprečna ventilacija u tunelima	29
4.8.2. Ventilacija za kontrolu požara i dima	30
4.8.3. Karakteristični požar za projektiranje ventilacije i otpornosti konstrukcije tunela ..	32
4.9. Sustav rasvjete u tunelima	33
4.10. Prometna signalizacija u tunelima	35
5. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA	36
5.1. Postupci operatera u COKP prilikom požara u tunelu	36
5.2. Evakuacija i intervencija vatrogasaca	37
5.3. Verifikacijske metode ispitivanja	39
5.4. Požarni scenarij u tunelima	39
5.4.1 Prvi požarni scenarij	40
5.4.2. Drugi požarni scenarij	40
5.4.3. Mogućnost nastanka eksplozije	41
5.5. Taktički nastup tijekom gašenja požara u tunelima	42
5.6. Sredstva za gašenje požara u tunelima	42
6. ZAKLJUČAK	45
7. POPIS LITERATURE	46
POPIS SLIKA	47
POPIS TABLICA	49

1. UVOD

Tuneli su građevinski vrlo zahtjevi objekti te mjesta povećanog rizika. Stoga se u njima moraju primjenjivati posebno stroge mjere zaštite.

Gledano kroz povijest prve naznake gradnje tunela nalazimo u egipatskim grobnicama 2000. g. pr. Kr. Prvi cestovni tunel izgrađen je u Napulju 36. g. pr. Kr, dužine 1000 metara. Najduži tunel na svijetu, Mont Blanc, izgrađen je 1967. godine i dugačak 11600 metara.

Jedan važnijih segmenata u tunelima je sustav za zaštitu od požara u tunelima, jer ponekad mogu požari u tunelima izazvati tragedije širokih razmjera. U cestovnim tunelima od 1949. godine te sve do danas desilo se preko 30 velikih nesreća. U većini slučajeva osobe su stradale zbog otrovnih plinova koji se stvaraju prilikom požara, a o visini nastale štete najbolje nam govori činjenica što su tuneli nakon požara bili zatvoreni na duže razdoblje.

24.3.1999, u tunelu Mont Blanc, desila se nezgoda sa najtežim posljedicama do tada. U toj je nesreći 39 osoba izgubilo život, a tunel je uništen u dužini većoj od 2000 metara. Kako je tuneli izgledao nakon nesreće i požara možemo vidjeti na slici 1. Druga najteža nesreća dogodila se 29.5.1999 u tunelu Taurin, gdje je život izgubilo 12 osoba. Analizom nastanka tih požara došlo se do zastrašujućih podataka. Tako se prilikom zapaljenja kamiona stvara ekstremna temperatura koja se penje i do 1000 stupnjeva celzijusa. Za vrijeme požara, u njegovoj se ranoj fazi, u kratko vrijeme oslobađaju velike količine dima i plinova. Zato se može reći da je požar u tunelu Mont Blanc pokazao da vrući plinovi mogu zapaliti i vozila koja su udaljena i više od 200 metara. To je jedan od primjera zašto je zaštititi od požara u tunelima potrebno posvetiti posebnu pozornost kako bi se izbjegle ovakve katastrofalne posljedice. Predmet istraživanja su današnji sustavi za zaštitu od požara u tunelima, kao i postupci prilikom požara. Opisom sustava cilj je objasniti kompleksnost sustava za zaštitu od požara te analizom postupaka u kriznim situacijama prikazati postupke prilikom požara koji se vrše prema zadanom scenariju te da se pogreške i štetne posljedice svedu na minimum.



Slika 1. Slika nakon požara u tunelu Mont Blanc.

1.1. Zakonska regulativa zaštite od požara

Sustav zaštite od požara podrazumijeva planiranje zaštite od požara, propisivanje mjera zaštite od požara građevina, ustrojavanje subjekata zaštite od požara, financiranje zaštite od požara te osposobljavanje i ovlašćivanje za obavljanje poslova zaštite od požara, s ciljem zaštite života, zdravlja i sigurnosti ljudi, životinja i sigurnosti materijalnih dobara. S ciljem zaštite od požara poduzimaju se organizacijske, tehničke i druge mjere i radnje radi:

1. otklanjanja opasnosti od nastanka požara,
2. ranog otkrivanja, obavješćivanja te sprječavanja širenja i učinkovitog gašenja požara,
3. sigurnog spašavanja ljudi i životinja ugroženih požarom,
4. sprječavanja i smanjenja štetnih posljedica požara,
5. utvrđivanja nastanka požara te otklanjanja njegovih posljedica.

Odredbe ovog zakona odgovarajuće se primjenjuju i na tehnološke eksplozije koje nastaju kao posljedica uporabe zapaljivih tekućina i plinova, te ostalih gorivih tvari, koje u kombinaciji sa zrakom mogu stvoriti eksplozivnu atmosferu, ako posebnim propisima nije drukčije određeno. Također odredbe ovog zakona se odnose i na građevinske dijelove u vlasništvu Republike Hrvatske.

Pojedini pojmovi koji se koriste u zakonu imaju sljedeće značenje :

- 1) požar je samo održavajući proces gorenja koji se ne kontrolirano širi u prostoru,
- 2) gorenje je brza kemijska reakcija neke tvari s oksidansom, najčešće s kisikom iz zraka u kojoj nastaju produkti gorenja te se oslobađa toplina, plamen i svijetlost,
- 3) tehnološka eksplozija je naglo širenje plinova uslijed gorenja ili druge kemijske reakcije,
- 4) požarni rizik je vjerojatnost nastanka požara u danim procesima ili stanjima,
- 5) ugroženost od požara je potencijalna opasnost od požara za zdravlje ili život ljudi i materijalnih dobara,
- 6) otpornost na požare je sposobnost dijela građevine da kroz određeno vrijeme ispunjava zahtjevu nosivost (R) i/ili cjelovitost (E) i/ili toplinsku izolaciju (I) i/ili drugo očekivano svojstvo, kako je propisano normom o ispitivanju otpornosti na požar,
- 7) reakcija na požar je doprinos materijala razvoja požara uslijed vlastite razgradnje do koje dolazi izlaganjem tog materijala određenim ispitnim uvjetima,
- 8) neposredna opasnost je stanje visokog požarnog rizika, koje može u bliskoj budućnosti dovesti do požara.

Evakuacijski put iz građevine je posebno projektiran i izveden put koji vodi od bilo koje točke u građevini do vanjskog prostora ili sigurnog prostora u građevini čije značajke (otpornost i reakcija na požar, širina, visina, označavanje, pristupačna rasvjeta i dr..) omogućuju da osobe zatečene u požaru mogu sigurno, (samostalno) napustiti građevinu.

1.2. Zaštita od požara u sustavu zaštite okoliša, prostornog uređenja i građenja

Nadležna policijska uprava na traženje nadležnog tijela sudjeluje u postupku donošenja dokumenta prostornog uređenja područne i lokalne razine sukladno propisu kojim se uređuje područje prostornog uređenja i građenja [11]. Kod donošenja dokumenata prostornog uređenja treba voditi računa o prostornim uvjetima zaštite od požara, posebice o :

1. mogućnosti evakuacije i spašavanje ljudi, životinja i imovine,

2. sigurnosnim udaljenostima između građevina ili njihovom požarnom odjeljivanju,
3. osiguranju pristupa i operativnih površina za vatrogasna vozila,
4. osiguranju dodatnih izvora vode za gašenje, uzimajući u obzir postojeća i nova naselja, građevine, postrojenja i prostore te njihova požarna opterećenja i zauzetnost osobama.

Također nadležna policijska uprava, na traženje nadležnog tijela:

1. sudjeluje u postupku izdavanja rješenja o uvjetima građenja prema propisu kojim se uređuje područje prostornog uređenja i gradnje, radi izdavanja potvrde o usklađenosti idejnog projekta s posebnim propisima iz zaštite od požara,
2. sudjelovanju u postupku izdavanja lokacijske dozvole za zahvat u prostoru prema propisu kojim se uređuje područje prostornog uređenja i gradnje radi određivanja posebnih uvjeta zaštite od požara,
3. određuje posebne uvijete zaštite od požara tijekom postupka izdavanja rješenja za građenje prema propisu kojim se uređuje područje prostornog uređenja i gradnje.

Prilikom projektiranja i građenja građevine mora se osigurati zaštita od požara, kao jedan od bitnih zahtjeva za građevinu propisanih posebnim propisom kojim se utvrđuje područje prostornog uređenja i gradnje, tako da se u slučaju požara :

1. očuva nosivost konstrukcije tijekom određenog vremena utvrđenih posebnim propisom,
2. spriječi širenje vatre i dima unutar građevine,
3. spriječi širenje vatre na susjedne građevine,
4. omogući da osobe mogu ne ozlijeđene napustiti građevinu, odnosno da se omogući njihovo spašavanje,
5. mogući zaštita spašavatelja.

Smatra se da je bitni zahtjev zaštite od požara ispunjen ukoliko građevina udovoljava minimalnim tehničkim zahtjevima zaštite od požara utvrđenim posebnim propisima i odlukama, procjenama utjecaja zahvata na okoliš, odnosno objedinjenim uvjetima zaštite okoliša, dokumentima prostornog uređenja i posebnim uvjetima zaštite od požara.

Prema zahtjevnosti mjera zaštite od požara građevine se dijele na :

- a) građevine skupine 1 – manje zahtjevne građevine,
- b) građevine skupine 2 - zahtjevne građevine.

Za građevine skupine 2 potrebno je izgraditi elaborat zaštite od požara. Elaborat služi kao podloga za izradu mjera zaštite od požara u glavnom projektu. Elaborat izrađuje ovlaštena osoba ovlaštena za izradu elaborata zaštite od požara i ovjerava ga svojim potpisom i žigom.

1.3. Održavanje sustava zaštite od požara

Svaka građevina ili njezin dio, ovisno o svojoj namjeni, mora se tijekom svog trajanja održavati na način da ispunjava bitni zahtjev zaštite od požara. Svaki prostor ili njegov dio, ovisno o svojoj namjeni, mora se održavati na način da ispunjava propisane mjere zaštite od požara. Vlasnici odnosno korisnici građevina, građevinskih dijelova, odnosno upravitelji zgrada dužni su održavati slobodnim i propisano označenim evakuacijskim putevima kao i pristupe vatrogasnim vozilima, te su dužni posjedovati uređaje, opremu i sredstva za gašenje požara. Također dužni su sukladno propisima, tehničkim normativima, normama i uputama proizvođača održavati u ispravnom stanju postrojenja, uređaje i instalacije električne, plinske, ventilacijske i druge namjene, dimnjake i ložišta, kao i druge uređaje i instalacije, koje mogu prouzrokovati nastajanje i širenje požara te o održavanju moraju posjedovati dokumentaciju. Vozila, uređaji, oprema, alat i sredstva za zaštitu od požara moraju se održavati u ispravnom i funkcionalnom stanju sukladno propisima, tehničkim normativima, normama i uputama proizvođača, o čemu mora postojati dokumentacija i moraju biti propisano označena, uvijek dostupna i moraju se namjenski koristiti.

Ispravnost i funkcionalnost izvedenih stabilnih sustava, uređaja i instalacija za otkrivanje i dojavu te gašenje požara, sustava, uređaja i instalacija za otkrivanje i dojavu prisutnosti zapaljivih plinova i para, kao i drugih ugrađenih sustava, uređaja i instalacija za sprječavanje širenja požara provjerama korisnika, sukladno uputi proizvođača, o čemu mora postojati evidencija, a pravna osoba ovlaštena od strane ministra najmanje jednom godišnje o čemu se izdaje uvjerenje [12].

2. OPĆI DIO

2.1. Vrste sustava za zaštitu od požara u tunelima

Sustavi za dojavu požara koji se danas koriste u tunelima u Republici Hrvatskoj u potpunosti su pouzdani i jedni od najmodernijih u Europi. To nam potvrđuje činjenica da je 2007. godine tunel Brinje proglašen najsigurnijim tunelom u Europi. U testiranju 51. tunela u 13 zemalja Europe, 2009. godine tunel Tuhobić, nakon izgradnje druge tunelske cijevi, osvojio je drugo mjesto u konkurenciji od trinaest tunela, što se može i vidjeti u tablici 1. 2010. godine, nakon izgradnje druge cijevi, tunel Sveti Rok proglašen je trećim najsigurnijim tunelom u Europi, u konkurenciji od dvadeset i šest tunela u trinaest zemalja. Treba istaknuti da većina hrvatskih tunela zadovoljava pravila Europske unije o sigurnosti prometa u tunelima, a ova ispitivanja su provedena od strane EuroTapa-a.

EuroTap (European Tunnel Assessment Programme) jedan je od ukupno osam istraživačkih projekata o sigurnosti u tunelima[8]. Ovo istraživanje izravno je vezano za podizanje sigurnosti u prometu. Tablica 1. nam pokazuje koje uvjete treba zadovoljiti da bi se tunela mogao naći na njihovoj listi, a možemo ujedno primijetiti da tuneli koji se nalaze u tablici su vrlo prometni. Jedni od uvjeta koje treba zadovoljiti su: sustav koji iznosi 14% ocjene, rasvjeta i napajanje koje iznose 7 %, promet i prometni nadzor iznosi 17%, komunikacije iznose 11%, bijeg i spašavanje iznosi 14%, požarna zaštita koja je ujedno i najvažnije u ovom ocjenjivanju iznosi 18%, ventilacija iznosi 11% i upravljanje energijom koja iznosi 8%. Najbolje ocjenjeni budu tuneli kojima ukupna ocjena iznosi 100%. Pokrenuto je na temelju europske direktive 2004/54EC koja govori o sigurnosti u tunelima.

EuroTap – kronološki pregled testiranih tunela u Republici Hrvatskoj:

1. 2004. god. u EU testirano je 50 tunela od kojih dva tunela u RH: tunel " Učka " i tunel " Tuhobić ",
2. 2005. god. testirano je 49 tunela od kojih su u RH testirana dva tunela: tunel " Javorova Kosa " i " Plasina ",
3. 2006. god. testirana su 52 europska tunela od kojih dva tunela na autocesti A1: tunel " Mala Kapela " i tunel " Grič ",

4. 2007. god. testiran je 51. tunel od kojih je jedan testiran na autocesti A1 tunel " Brinje " koji je ocjenjen kao najbolji u Europi,
5. 2008. god. testiran je 31. tunel, a tunel Veliki Gložac postigao je izrazito dobre rezultate, tijekom 2009. godine projekt EuroTap konzorcij nastavio je kontinuitet testiranja tunela na TERN europskoj mreži prometnica,
6. 2009. god. tunel " Tuhobić " u ponovljenom testiranju s dvije cijevi, otvorene i nakon usvojenih smjernica stručnjaka, osvaja drugo mjesto u Europi te najvišu ocjenu (jako dobar),
7. 2010. god. i tunel " Sveti Rok " dobiva najvišu ocjenu.

U počecima zaštite tunela od požara ugrađivani su sustavi za dojavu o požaru sa raširenom upotrebom i shvaćanjem prednosti ugradnje ovih sustava sa svrhom zaštite ljudi i dobara. Već i primjena ionizacijskih javljača u tunelu dala je određeni stupanj zaštite kroz godine. Sustav za automatsku dojavu požara u tunelima predstavnici su jednih od dugovječnijih instalacija sa dugovječnom funkcijom. Ovi sustavi su bili podložni nizu utjecaja, jedan od njih je da dolazi do samozapaljenja samog javljača u uvjetima gustog prometa, odnosno općim atmosferskim utjecajima. To je umanjivalo opću pouzdanost sustava i iziskivalo česte servise. Zbog radijacije su gotovo pa izbačeni iz upotrebe.

Izgradnjom tunela na autocesti Rijeka – Zagreb 2004. god. u promet su pušteni sustavi za automatsku dojavu požara. Ti sustavi bili su sastavljeni od senzorskih cijevi i ti sustavi se i danas koriste. Nedostaci ovog sustava su bili u točkastoj izvedbi detektora, odnosno u činjenici da kod atmosferskog pražnjenja često dolazi do kvara pojedinog osjetnog mjesta te se u konačnici to manifestiralo time da sustav nije bio pouzdan.

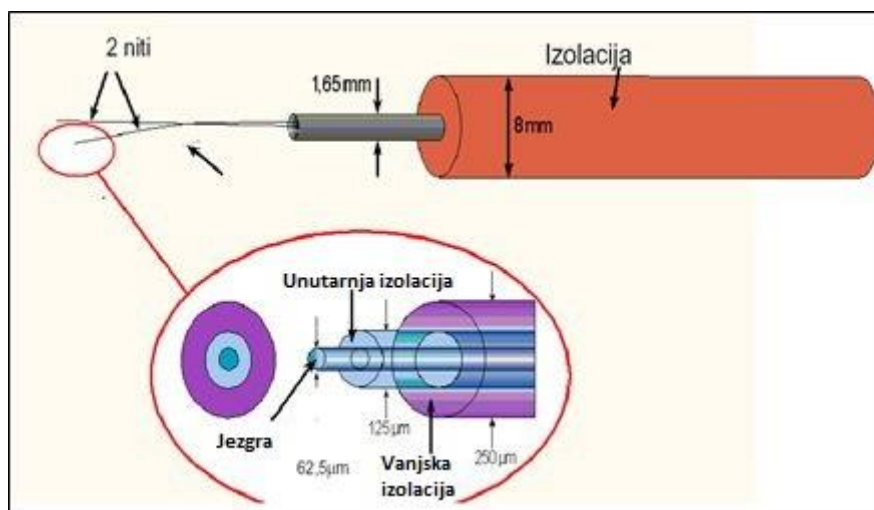
Novija generacija svjetlovodnih senzorskih kabela dala je odgovarajući tehnološki odgovor. Sustav koji je u kombinaciji sa sustavom dojave požara opće primjene i integracije sa drugim sustavima u tunelu, daje izvrsno rješenje zaštite od požara u tunelima.

Tablica 1. Tablica testiranih tunela od strane EuroTap-a 2009 godine.

				Datum							Ocjena																		
DRŽAVA																													
		Lokacija		Dužina u kilometrima		Početak rada		Broj vozila koja prođu kroz tunel		Broj cijevi		Sustav tunela 14%		Rasvjeta i napajanje 7%		Promet i prometni nadzor 17%		Komunikacije 11%		Bijeg i spašavanje 14%		Požarna zaštita 18%		Ventilacija 11%		Upravljanje energijom 8%		EuroTap rezultati	
ŠVICARSKA																													
Stagjitschugge		H 213		2,3		2008		4700/7,5		1		++		++		++		++		++		++		++		++		++	
Collmbey		H 21MO		1,2		2003		6500/2		1		++		++		++		++		++		++		++		++		++	
Flimserstein		A 19		2,9		2007		6000/4,5		1		+		++		0		++		+		++		++		++		++	
Nue - des Alpes		H 20		3,3		1994		19500/2,8		1		+		++		-		+		--		0		++		++		0	
NJEMAČKA																													
Warnow		B 105		0,8		2003		10800/2		2		++		++		++		++		++		++		++		++		++	
Flughafen Tegel		A 111		1		1979		87000/10		2		++		++		++		++		++		++		++		++		++	
Brudermuh		B 2R		0,8		1988		109000/5,4		2		++		++		0		++		++		+		++		++		++	
Schlossberg		Fredrich-Elbert-Anta		0,9		1968		14000/6		1		--		++		++		++		++		++		++		++		+	
ŠPANJOLSKA																													
Vielha		N 230		5,2		2007		2800/14		1		+		++		++		++		++		++		++		++		++	
Marchante		A 7		1,4		2006		20781/13,4		2		++		++		++		++		+		+		+		++		++	
Piqueras		N 111		2,4		2008		1149/15		1		+		++		++		++		++		+		--		++		+	
Ordovivico Del Fabe		A 8		1,4		2002		16000/20		2		++		++		0		--		+		0		++		+		+	
HRVATSKA																													
Tuhobić		A 6		2,1		1996		12000/14		2		++		++		++		++		++		++		++		++		++	

2.2. Linearni sustavi za dojavu požara

Linearni sustav za detekciju požara sastoji se od svjetlovodnog senzorskog kabla i kontrolora senzorskog kabla. Staklena nit, koja služi kao senzor topline, spaja se na kontrolor. Kontrolor, osim što je izvor monokromatskog svjetla, ima zadaću obrade raspršenog svjetla u senzorskom kabelu. Na temelju toga se računa temperatura, odnosno promjena temperature uzduž svjetlovodnog kabla. Kako točno izgleda konstrukcija svjetlovodnog kabla vidljivo je na slici 2.



Slika 2. Konstrukcija optičkog svjetlovodnog kabla [2].

2.3. Princip rada linearnog sustava za dojavu požara

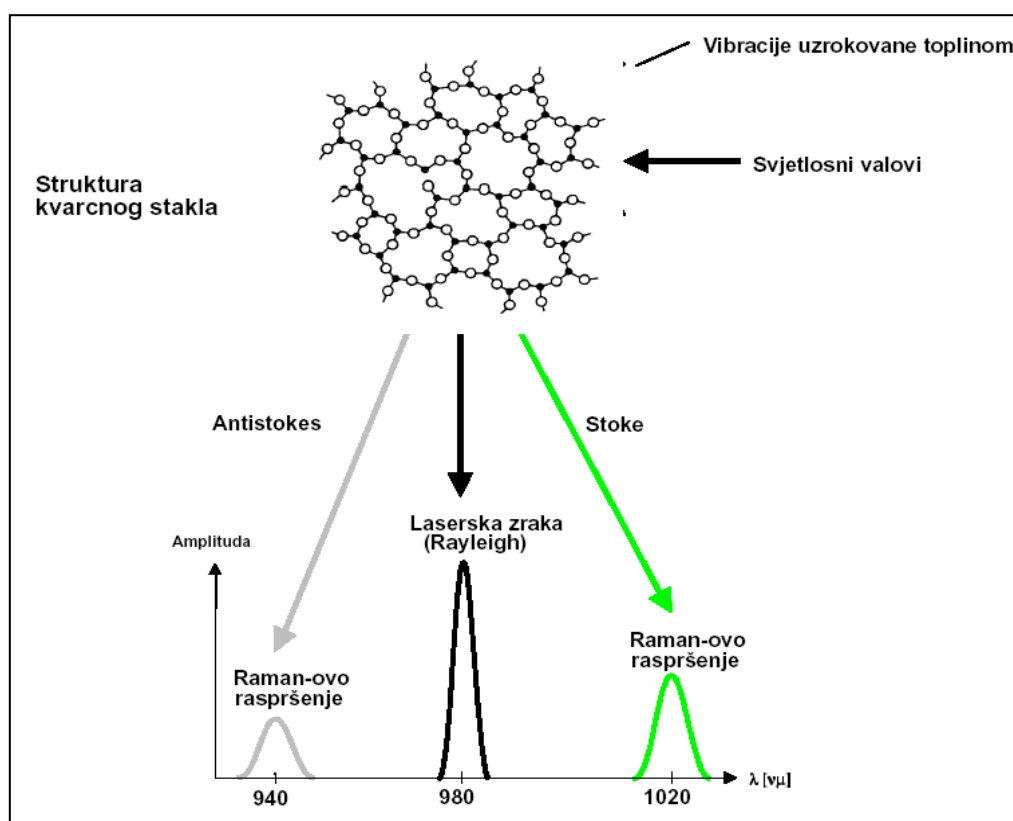
Kvarcno staklo koristi se kao svjetlovodna nit u senzorskom optičkom kablju. Kvarcno staklo je silicijdioksid (SiO_2), s čvrstom strukturom. Porastom temperature dolazi do vibracije kristalne rešetke u senzorskom kablju. Kada svjetlost padne na termički pobuđenu rešetku, dolazi do interakcije fotona i elektrona. Rezultat ove interakcije je raspršivanje svjetlosti u svjetlovodnom kablju koje se naziva Raman-ovo raspršenje. Frekvencija raspršene svjetlosti je pomaknuta u odnosu na frekvenciju inicijalnog svjetlosnog snopa za iznos rezonantne frekvencije temperaturom pobuđene rešetke.

Reflektirana svjetlost iz optičkog svjetlovodnog kabla sadrži tri frekvencijski razmaknute komponente:

- a) Rayleigh-ova komponenta valne duljine identične valnoj duljini inicijalnog svjetlosnog snopa,

- b) Stokes komponenta s višom valnom duljinom od valne duljine Rayleigh-ove komponente svjetlosnog snopa,
- c) Antistoks komponenta s nižom valnom duljinom od valne duljine Rayleigh-ove komponente svjetlosnog snopa.

Na slici 3 prikazujem mjesta u spektru na kojima se pojavljuju novonastali Raman –ovi valovi. Amplituda " Stoks " pojasa valova je praktički temperaturno neovisna dok je amplituda " Antistoks " pojasa promjenjiva u ovisnosti o temperaturi.



Slika
3.

Struktura kvarcnog stakla.

Fizikalna veličina, kao što je temperatura, ima utjecaj na rešetku kvarcnog stakla tako da lokalno mijenja karakteristiku propagacije svjetla kroz svjetlovod. Budući da su pri gušenju svjetla u kvarcnom staklu uslijed raspršenja svjetla na mjestu vanjskog djelovanja topline te s obzirom da se mjesto topline može odrediti, svjetlovodni kabel je primjenjiv kao linearni senzor temperature.

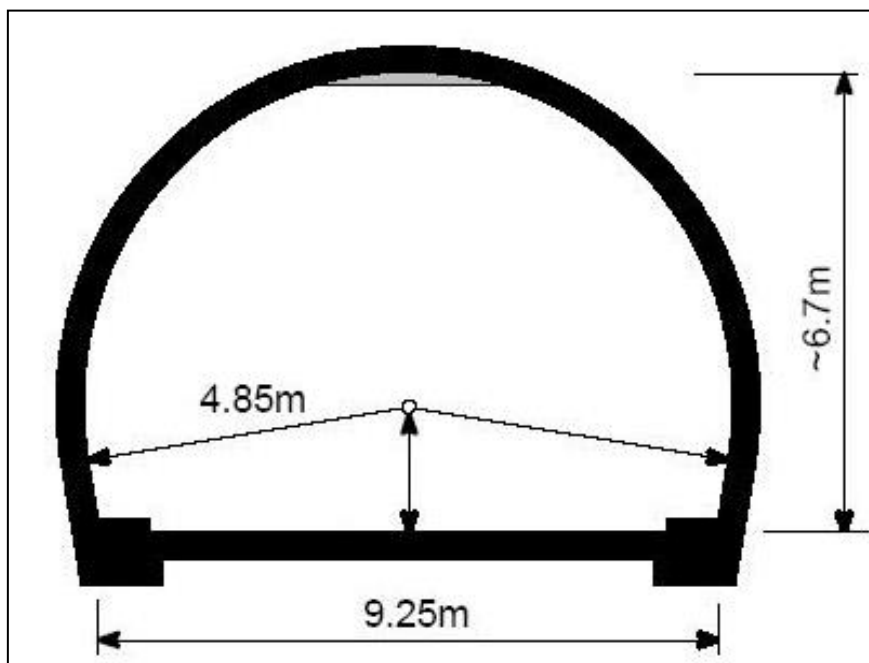
2.3.1. Linearni sustav za detekciju požara OTS System

Sustav OTS (optical temperature sensor) tvrtke LIOS Tehnology, koristeći moderne tehnologije, poluvodičku diodu visoke efikasnosti za izvor svjetla te algoritme za obradu

podataka u mogućnosti je mjeriti opisane pojave u svjetlovodu dužine do 4000 metara[4]. Optimiziranje ciklusa mjerenja i rezolucije uzduž svjetlovodnog kabela sustav može detektirati promjene temperature od nekoliko stupnjeva u minuti s visokom pouzdanošću. Bitni parametri za ocjenu pojave požara podesivi su, i to omogućuje podizanje učinkovitosti sustava s obzirom na mikroklimatske specifičnosti pojedinih objekata.

Parametriranje sustava obavlja se pomoću odgovarajuće aplikacije na kompjutoru koji je spojen serijskom vezom na kontroler senzorskog kabela. Jednom postavljeni parametri pohranjeni u memoriji kontrolera omogućuju autonoman rad sustava. Preko bežičnih kontakata kontroler preprogramirane alarme prenosi ostalim sustavima za signalizaciju i upravljanje. Sustav OTS je prvenstveno napravljen za zaštitu od požara u tunelima i kao takav je idealan za primjenu. Budući da je unutar prometne cijevi tunela instaliran samo svjetlovodni senzorski kabel održavanje koje bi iziskivalo radove u tunelu bilo bi svedeno na minimum. Sustav je osim toga potpuno imun na teške uvjete u tunelima (kao što su vlaga, visoke i niske temperature, prašinu, čađu i sl...)

Senzorski kabel učvršćuje se u gornji dio tunela. S obzirom na geometriju tijela tunela i razvoj temperature prilikom razvoja požara preporučeno je područje gdje se kabel postavlja. Slika 4. pokazuje karakteristični poprečni presjek tunela i područje gdje bi senzorski kabel trebao biti instaliran.



Slika 4. Područje montaže senzorskog kabela u tunelu.

Senzorski kabel montiran unutar preporučenog područja osigurava visoku efikasnost sustava, a istovremeno dozvoljava fleksibilnost prilikom montaže. Ostatak sustava može biti smješten izvan prometne cijevi tunela ili unutar prometne cijevi odakle je osigurana komunikacija prema kontrolnom centru.

Parametriranje sustava kao i izmjena podataka između sustava i nadzornog centra za vrijeme redovnog rada odvija se daljinski. Sustav nakon provedenog parametriranja u potpunosti je autonoman. U smislu mogućnosti proširenja spajanja može biti spojen na daljinski sustav nadzora i upravljanja, no može biti spojen na centralni nadzorni sustav za dojavu požara. Pojavu požara u pojedinoj zoni prati promjena boje dotične zone, s odgovarajućim izmjerama temperature kao i zvučni signal. Kao dodatnu informaciju centralni nadzorni sustav pruža prikaz uzduž cijelog senzorskog kabela što možemo vidjeti na slici 5. Na temelju temperaturnog profila tunela moguće je pratiti trenutne uvijete tijekom normalnog rada, a u slučaju požara moguće je na temelju porasta temperature uzduž senzorskog kabela ocijeniti smjer strujanja zraka a time i smjer širenja dima u tunelu. Ova informacija je značajna za odabir smjera pristupa vatrogasnoj postrojbi, kao i za pružanje informacije putnicima u tunelu o smjeru evakuacije.



3. POS TA VK A ZA DATKA

3.1. Primjena linearnih sustava za dojavu požara u Republici Hrvatskoj

Linearni sustav za detekciju požara u Hrvatskoj našao je primjenu samo u cestovnim tunelima. Prva instalacija napravljena je u tunelu " Sveti Rok " , a nakon instalacije provedena je požarna proba u cilju provjere efikasnosti sustava. Za vrijeme požarnih proba osim provjere rada, obavljene su i podešavanja sustava kako bi se povećala osjetljivost, a time i smanjilo vrijeme odaziva za vrijeme požara [4]. Ukoliko neoprezno povećamo osjetljivost, sustav može uzrokovati učestalu pojavu lažnih alarma.

Požarne probe provode se u svim tunelima u kojima je instaliran linearni sustav za dojavu požara. Probe su planirane i organizirane u skladu sa austrijskim smjernicama za projektiranje cestovnih tunela. Smjernice propisuju vrstu i količinu smjese koja će se paliti, brzinu strujanja zraka za vrijeme požarne probe kao i vremena u kojem sustav za dojavu požara mora reagirati.

Sustavi postavljeni u hrvatskim tunelima podešeni su tako da zadovoljavaju tažena vremena, a istovremeno u redovitom pogonu do sad nije bilo lažnih alarma.

3.2. Sustavi za dojavu požara opće namjene

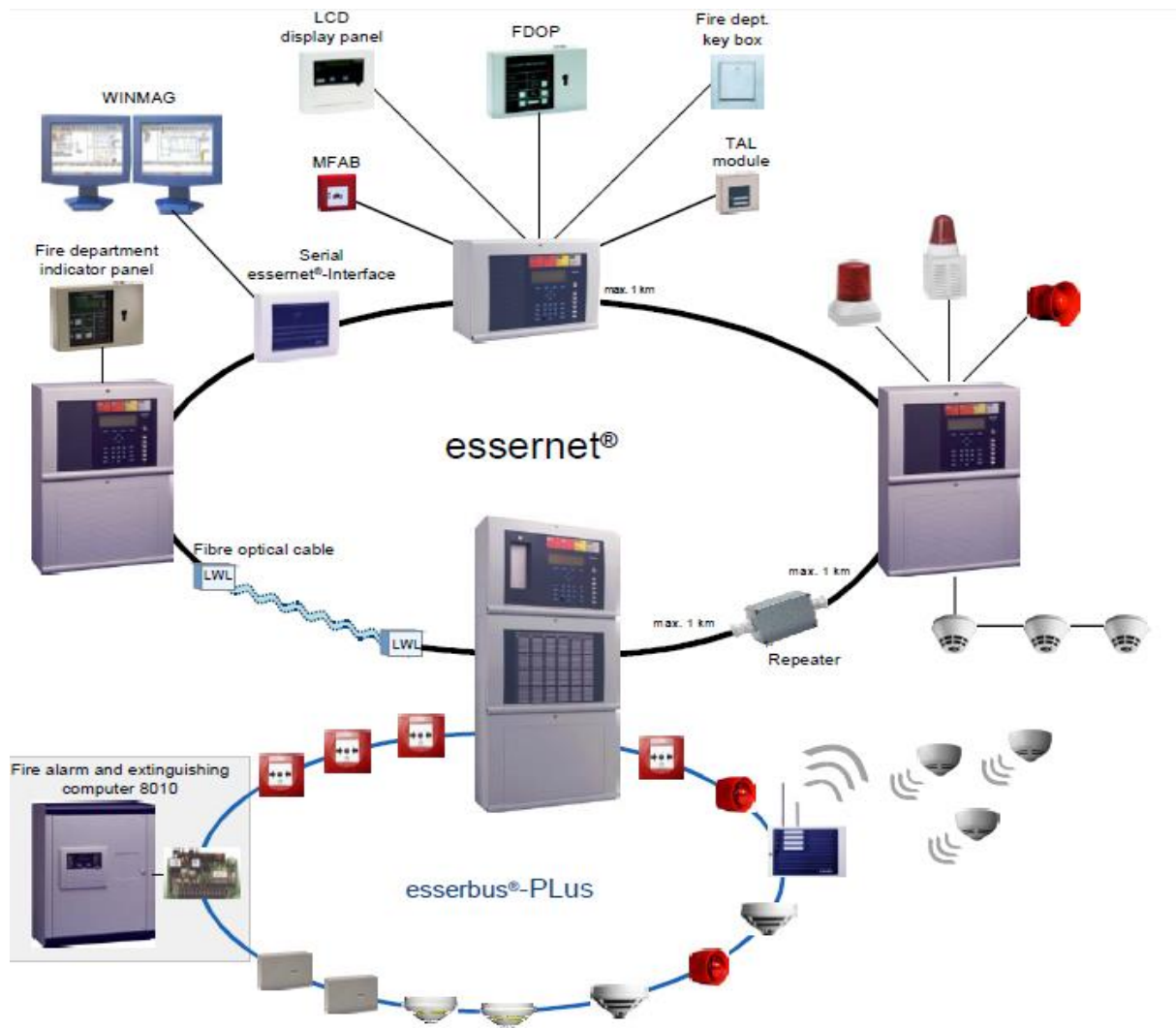
Sustavi za dojavu požara opće primjene nemaju specifičnu namjenu kao linearni sustavi, već imaju masovnu primjenu u zaštiti objekata od požara. Danas svi javni objekti moraju imati zaštitu od požara. Zbog takve primjene ti su sustavi maksimalno modularni tj. mogu ispuniti svaki zahtjev korisnika u zaštiti od požara, kao i nadogradnju starijih sustava modernijim [14].

Općenito svaki sustav za dojavu od požara sastoji se od:

1. mikroprocesorske centrale u koju su ugrađeni,
 - a) oprema za nadzor glavnog i pričuvnog napajanja,
 - b) oprema za obradu podataka dobijenih čitanjem elemenata na petljama,
 - c) komunikacijski dijelovi,
 - d) relej izlazi.
2. adisibilnih javljača
 - a) automatski (optički, termički, optičko – termički, linijski IR detektori),
 - b) ručni javljači,

- c) adisibilni ulazni i izlazni moduli,
- d) sirene i bljeskalice,
- e) ostali elementi sustava (razni komunikacijski dijelovi sustava i dr.).

Na slici 6. prikazana je blok shema sustava za dojavu požara gdje se može vidjeti da je svaki dio sustava povezan sa centralnim djelom sustava kako bi imali u svakom trenutku dostupne informacije.



Slika 6. Blok shema sustava za zaštitu požara.

4. RAZRADA ZADATKA

4.1. Vatrodojavna centrala

Vatrodojavna centrala prihvaća, obrađuje i prikazuje podatke za slijedeće tipove ulaznih signala:

1. digitalni oblik analogne vrijednosti automatskih javljača požara,
2. signal s ručnih javljača požara,
3. signal kvara i nadzora.

Preko izlaznih kontakata moguće je izvesti pojedinačnu signalizaciju kvara i alarma te preko izlaznih modula upravljati drugim sustavima u građevini. Vatrodojavna centrala uz matičnu ploču sadrži elektroničke komponente za nadzor napajanja, komunikacijske dijelove i releje te uz pomoć softwera vrši ispravan rad. Detektori su napajani za sve detekcijske, nadzorne i komunikacijske funkcije. Ukoliko dođe do prekida petlje centrala ostaje potpuno u funkciji jer se napaja i čita elemente s obje strane. Petlja je i zaštićena od kratkog spoja. Elektronika je spremljena u metalnom ili plastičnom kućištu koje ujedno i štiti od mehaničkih i atmosferskih oštećenja. Ulaz vatrodojavne centrale je osiguran vratima s ključem, a software je osiguran posebnom zaporkom.

Vizualna signalizacija za svaku petlju i uređaje vidljiva je bez otvaranja vrata. Svako događanje u sustavu ispisuje se na ekranu koji pamti i vidljivo je u memoriji događaja.

4.2. Adresabilni javljači požara

Analogno – adresebilni javljači požara, vatre i dima predviđeni su za rad sa analogno – adresabilnim vatrodojavnim centralama. Oni imaju ključnu ulogu u prevenciji i ranoj detekciji požara jer o brzini detekcije ovisi brzina reakcije na pojavu požara i konačni ishod požara.

4.2.1. Adresabilni optički javljač požara

Adresabilni optički javljači požara ugrađuju su u analogno – adresabilne vatrodojavne sustave. Predviđeni su za rad na bilo kojim analogno adresabilnim alarmnim panelima. Važna

karakteristika im je što se napajaju iz petlje. Reagiraju na prisutnost dima. Opremljen je labirintskim komorama s osjetljivom foto – ćelijom koja ovisno o koncentraciji dima prima na sebe više ili manje infracrvene svjetlosti.

4.2.2. Adresabilni termički javljač požara

Adresabilni termički javljač opremljen je elektroničkim termoosjetljivim sklopom za mjerenje temperature zraka. Elektronski se adresira, a sa centralnim uređajem komunicira u digitalnom obliku. Temperaturni prag kod koje se aktivira javljač je oko 60°C.

4.2.3. Adresabilni ručni javljač požara

Ručni javljači požara ugrađuju se u pripadajuće analogno adresabilne vatrodojavne sustave. Ručni javljač požara koristi se uglavnom u kombinaciji sa raznim drugim vrstama vatro detektora, a u naravi predstavljaju tipkalo koje osoba mora aktivirati ako primijeti požar [15]. Nakon aktivacije javljanjem sustav vatrodojave radi sve ono što bi i radio i da je požar dojavljen od strane detektora požara bilo kojeg drugog automatskog javljača požara.

4.3. Sustavi za dojavu požara opće primjene u tunelima

Tuneli kao građevinska cjelina dijeli se na nekoliko zasebnih požarnih sektora kao što su : tunnelske cijevi, pješački prolazi, trafostanica, prostorije s opremom za besprekidno napajanje te kabelski kanali. Tunel se zbog jednoznačne dojave dijeli na područja koja se poklapaju s pojedinim požarnim sektorima. Glavna tunnelska cijev čini jedan požarni sektor koji se uglavnom dijeli na nekoliko dojavnih zona, i to na način da granice zona idu polovicom razmaka između pješačkih prolaza. Sustavi za zaštitu u tunelima temelje se na makroprocesorski upravljanoj centrali za dojavu požara s vlastitim napajanjem.

4.3.1. Centrala za dojavu požara

Centrala za dojavu požara na slici 7 služi za prihvatanje i obradu signala iz automatskih detektora, ručnih javljača i ulaznih modula. Putem detektorskih linija, te putem izlaznih modula, ili upravljačkih izlaza provodi alarmiranje i upravljanje sustavom za dojavu požara.

Prikaz cijele situacije i prikupljenih podataka, te upravljanje sustavom, provodi se preko ugrađene upravljačko – indikacijske tipkovnice ili preko sustava za daljinski nadzor i upravljanje.

Centrala može prihvatiti četiri linije analogno adresabilnih detektora. Programski može formirati područje, tj. grupe detektora u skladu sa konfiguracijom objekta radi lakšeg snalaženja u alarmnim situacijama. Centrala u memoriji može pohraniti 200 događaja u nekom vremenskom periodu koji se kasnije mogu pregledati.

Tehničke značajke centrale koju možemo vidjeti na slici 7.

1. maksimalan broj raspoloživih adresa iznosi 800 detektora
2. broj kontroliranih izlaza za alarmne naprave 2 x 24VC / 0,5A ili 2x 24VC/2,0A,
3. broj programabilnih izlaza (max 1A/30V) 16 24VC/40mA,
4. radna temperatura centrale od 0° C do +40° C,
5. relativna vlažnost zraka a pod kojim centrala radi bez poteškoća iznosi max 95%,
6. napajanje 230V±15%, 50Hz,
7. maksimalna potrošnja tijekom rada iznosi 200VA,
8. u slučaju nestanka električne energije centrala uz pomoć rezervnog napajanja može raditi do 72h,
9. mogućnost pohrane 200 događaja u memoriji centrale,
10. centrala

europsku

zadovoljava

normu EN 54.



Slika 7. Centrala za dojavu požar

4.3.2. Analogno - adresabilni javljač DM 1134

Ručno analogno – adresabilni javljač tipa DM 1134 koji možemo vidjeti na slici 9. smješteni su u SOS prostorima kao i na svakom portalu tunela (po jedan sa svake strane sjevernog portala i po jedan sa svake strane južnog portala). Ručni javljači montiraju se na zid na visini od $1,4\text{m} \pm 0,2\text{m}$ odnosno u ormar u SOS prostoru. Ručni javljač nam omogućuje trenutno ručno aktiviranje alarma jednostavnim razbijanjem stakla i pritiskom na tipku. Detektor ujedno služi kao i izolator petlje za odvajanje dijela petlje u slučaju kvara na petlji.

Tehnički podaci za analogno – adresabilni javljač DM 1134:

1. radna temperatura javljača je od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$,
2. relativna vlažnost zraka pod kojom javljač radi iznosi 100%,
3. radni napon se kreće od 16V do 28V s time da je moduliran,
4. potrošnja električne energije iznosi $150\mu\text{A}$,
5. brzina prijenosa podataka kojih šalje do centrale iznosi 167 Bd duplex,



6. stupanj zaštitne kategorije u koju spada ovaj javljač je IP 54D,
7. analogno – adresabilni javljač zadovoljava Europsku normu EN54-11,

Slika 8. Analogno – adresabilni ručni javljač požara DM 1134.

4.3.3. Analogno – adresabilni automatski optičko – termički detektor DOT 1131A

Na slici 9. možemo vidjeti automatski javljač tip DOT 1131A s kojim su pokrivene UPS prostorije trafostanica i prostori u kojima su smještene vatrodojavne centrale. Javljač se postavlja na stropove prostorija. Automatski optičko - termički detektor dizajniran je za rano otkrivanje dima i temperature nastale uslijed požara. Rezultat obrade signala izražava se kroz dva signala opasnosti. Signal opasnosti za standardnu osjetljivost i signal opasnosti za povećanu osjetljivost. Iz centrale se provodi osjetljivost detektora. Centrala je u normalnoj primjeni predprogramirana da obrađuje signal opasnosti za standardnu osjetljivost. Odgovarajućim programiranjem centrala može određivati signal za povećanu osjetljivost. Također u centralu se prosljeđuje stanje kvara na detektoru. Aktiviranje detektora vidljivo je preko LED- a na samom detektoru. Detektor ima izolirane petlje tako da može odvojiti dijelove petlje u slučaju kvara.

Tehnički podaci za analogno – adresabilni optičko termički detektor DOT 1131A:

1. radna temperatura javljača je od -25°C do $+60^{\circ}\text{C}$,
2. relativna vlažnost zraka pod kojom javljač radi bez poteškoća je 95%,
3. radni napon se kreće od 16V do 28V s time da je moduliran,
4. potrošnja električne energije iznosi $200\mu\text{A}$,
5. brzina prijenosa podataka kojih šalje do centrale iznosi 167 Bd duplex,
6. stupanj zaštitne kategorije u koju spada ovaj javljač je IP 44,
7. analogno – adresabilni automatski optički detektor zadovoljava europsku normu EN 54-7,

Slika 9. Analogno- adresabilni automatski optički detektor

4.3.3.1. Analogno – adresabilni ulazni modul DC 1131- AA

Na slici 10. možemo vidjeti ulazni modul namijenjen je za daljinsko očitovanje statusa bez naponskih kontakata. Može se montirati na unutarnje i vanjske prostore. U petlju se spaja pomoću analogno – adresabilnih konektora. U sebi sadrži mikroprocesor i izolator za odvajanje dijela petlje u slučaju kvara. Za primanje ulaznih signala koristi se kod podizanja boca protupožarnih aparata. Modul radi tako da se signal generira na način da magnetni kontakt, koji

krug a koji mjeri podizanjem požarnog aparat krug. Sustav informaciju o boce i aktivira

podaci



zatvara strujni modul boca protu prekida strujni tako dobije podizanju alarm.

Tehnički za analogno – adresabilni

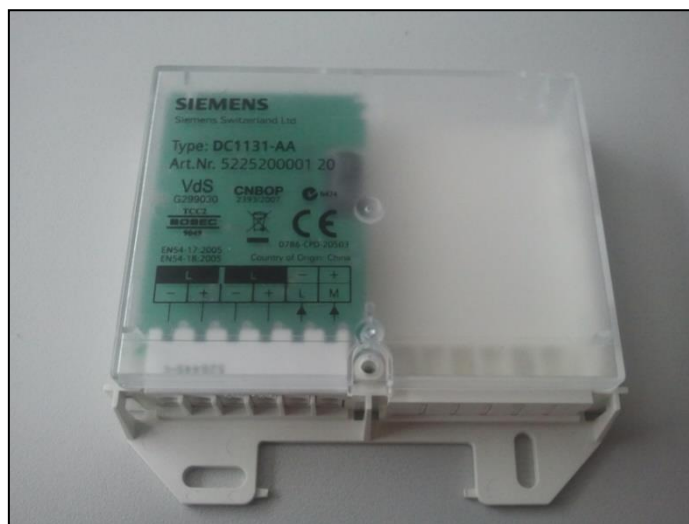
ulazni modul DC 1131-AA:

1. radna temperatura modula je od -10°C do $+60^{\circ}\text{C}$,
2. relativna vlažnost zraka pod kojom modul radi bez poteškoća je 95%,
3. radni napon se kreće od 16V do 28V s time da je moduliran,
4. potrošnja električne energije iznosi $200\mu\text{A}$,
5. stupanj zaštitne kategorije u koje spada ovaj modul je IP 56.

adresabilni ulazni

4.4. Kabelske

Kabelske
pomoću kojih se
izvedena je
tipa JE-H(st)H
E90 4x2x



Slika 10. Analogno -
modul DC 1131 - AA

instalacije

instalacije
javljači spajaju
pomoću kabela
FE 180 E30 –
0,8mm,koji je

vidljiv na slici 10. a koji je ujedno i pogodan za polaganje u zemlju . Primjeren je za fiksnu instalaciju unutar suhih ili vlažnijih prostorija, gdje u slučaju požara treba zaštititi ljude i imovinu. Kabel omogućuje funkcionalnost sustava od 30 – 90 min, ovisno o kojem kabelu se radi [16]. Odnosno rad alarmnih sustava, nužne rasvjete, dizala za putnike za slučajevne evakuacije.

Proizvođač propisuje način pravilne ugradnje opreme, poglavito optičkog detektora kabela. Montirane obujmice na vrhu tunelske cijevi s razmakom od 0,75 m – 1,0 m. Montiraju se kuke od nehrđajućeg čelika u razmaku od 10 m – 20 m, kroz koje prolazi optički kabel a služe kao dodatno osiguranje u slučaju većeg kvara na kabelu. Pri postavljanju kabela mogu se očekivati i razne prepreke (cijevi, kabeli i sl) s toga treba voditi računa kako ih običi na odgovarajući način a ne da umanjimo funkcionalnost i efikasnost kabela. Prilikom montaže treba voditi računa da kabel bude blago zakrivljen i da se ne dodiruje sa drugom preprekom [1]. Ukoliko na nekim mjestima treba kabel instalirati pod kutom, treba voditi računa da je minimalni radius 60mm, te da je preporučena udaljenost obujmice od centra zakrivljenosti

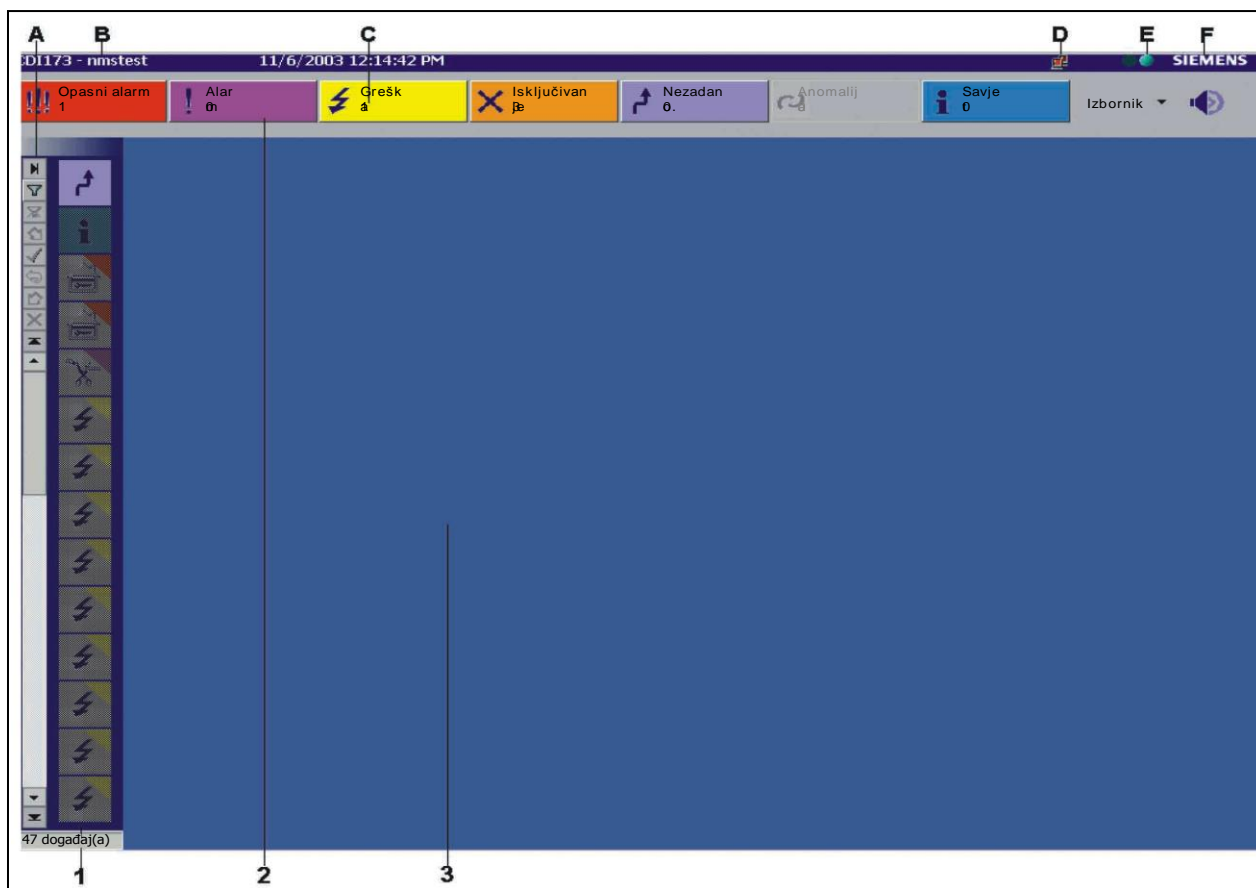
100mm. Vodove isto tako treba mehanički zaštititi u skladu sa stupnjem mehaničke zaštite u danom prostoru. Odnosno u skladu s opće važećim elektrotehničkim propisima za izvođenje elektroinstalacija u zgradama i industriji. Elektromagnetske smetnje od drugih uređaja, ili atmosferskih pražnjenja treba zavisno od specifičnog slučaja otkloniti ili maksimalno smanjiti.

Slika 11. Kabel JE-H (st) H E30 – E90 4x2x0,8 mm



4.5. Sustav centralnog nadzora i upravljanja MM 8000

Na slici 12. možemo vidjeti MM 8000 sustav koji je projektiran i dizajniran kao lako upravljivo sučelje za upravljanje sa sustavima tehničke zaštite sa jednog mjesta. Sustav predstavlja vizualno vođenje sustava tehničke zaštite. Odnosno u ovom slučaju sustava za dojavu požara. Sustav je izveden tako da su na grafičkim podlogama objekata ucrtani svi elementi sustava, kojima se može upravljati [6]. U koliko se nešto dogodi sustav ga objavljuje zvučno i objava se prikazuje na ekranu. Svaku promjenu, bilo da se radio o alarmu, grešci, isključenju, obavijesti ili anomaliji u sustavu, MM 8000 sustav bilježi sve informacije u memoriju događaja i omogućuje vođenje procesa obrade podataka.



Slika 12. Ekran sustava MM 8000

Na slici 12. vidimo više pojmova koji se pojavljuju na ekranu, radi lakšeg objašnjenja u tablici 2. svi pojmovi su potanko objašnjeni.

Tablica 2. Definicije pojmova MM 8000 sustava

Na vrhu (lijeva strana) trake nalaze se sljedeće informacije:		
A	Sakrij/pokaži Listu događaja	Prikazuje ili skriva listu događaja u radnom prostoru.
B	Radna stanica / Korisnik	Prokazuje ID radne stanaice i korisnički ID prijavljene osobe.
C	Broj događaja	Broj tekućih događaja te vrste.
D	Podšavanje	Prikazuje stanje komunikacije između MM8000 i upravljačkih uređaja
E	Stanje sustava	Pokazuje da je sustav aktivan kada trepće zeleno.
F	O MM8000	Pokazuje koja se verzija MM8000 koristi, kada se klikne na to.
1.	Prostor ikone događaja – Prikazuje se uvijek.	
2.	Sumarna traka – Prikazuje se uvijek.	
3.	Radni prostor – lista događaja, pretraživači; ovdje se prikazuju i vanjske aplikacije.	

4.6. Princip rada sustava za dojavu požara u tunelima u Republici Hrvatskoj

Sustav za dojavu požara u tunelima u Republici Hrvatskoj sastoji se iz dva dijela, odnosno dva sustava koja rade zajedno: Sustav za dojavu požara opće primjene i OTS sustava. Sustav za dojavu požara za opće primjene glavni je komunikator prema sustavu daljinskog vođenja, odnosno sustavu za upravljanje prometom [11]. Ovisno o ulaznim signalima, odnosno alarmima koji mogu dolaziti od automatskih javljača, ručnih javljača, PP aparata i zone OTS sustava. Prema utvrđenom algoritmu sustav šalje signale prema sustavu daljinskog vođenja, te preko izlaznih programabilnih modula, gdje dalje sustav daljinskog vođenja upravlja prometom i kreira novu prometnu situaciju. Centralni sustav ugrađuje se u trafostanice na portalima za tunele, a za duže tunele ugrađuju se također u pješačke evakuacijske prolaze, zbog limitirane duljine petlje od 2000m. Centrale su spojene u njihovu komunikacijsku mrežu tako da se svi događaji prikazuju na svim LCD panelima od centrala, bez obzira na kojoj se centrali pojavio. Također se može upravljati sa svim elementima sa jedne centrale na drugu. Spojene centrale komuniciraju preko optičke komunikacije sa računalom u COKP na kojima je pokrenut program MM 8000, kako bi operator imao mogućnost nadzora i upravljanja nad sustavom. OTS sustav koristi se za tunnelske cijevi, a sustav opće primjene pokriva SOS niše, trafostanice i pješačke prolaze. Ovisno o dužini tunela određujemo koliko će biti OTS kontrolera. U Hrvatskoj su najčešće u upotrebi OTS – 100 " fibrolaser II " koji vidimo na slici 13. i kontroleri nove generacije OTS – 4000 . Kontroler optičkog detektorskog kabla, zajedno s optičkim detektorskim kabelom, služi za detekciju promjene temperature (požara) po cijeloj dužini kabla. Kontroler isto tako omogućava podjelu optičkog kabla na 128 zona te zasebno podešavanje svake zone kao i provođenje konstantnog nadzora stanja pojedine zone.

Slika 13. Kontroler senzorskog kabela OTS 100.

Program "Charon 2" grafički prikazuje mjerenja koja služe za podešavanje parametra kontrolera, odnosno čita dužinu optičkog kabela u tunelu i definira programske požarne zone. Svaka zona podešava se zasebno, ovisno u kojem dijelu tunela se nalazi, kao i dijelovi optičkog kabela koji nisu u požarnoj zoni na kojima se ne mjeri temperatura (slučaj kada optički kabel prolazi iz jedne tunelske cijevi u drugu). U centru za održavanje i kontrolu prometa nalazi se računalo na kojem je pokrenut program "Charon 2". Veza između računala i kontrolera ostvarena je sa RS 232 komunikacijom kod starijih kontrolera i ethernet komunikacijom kod novijih. Centar za održavanje i kontrolu prometa može biti udaljen i po nekoliko desetaka kilometara, a kako RS 232 i ethernet komunikacije nisu za velike daljine, zbog smetnji i gubitka komunikacija se vrši pomoću komunikacijskih optičkih kabela kod kojih nema gubitaka. U blizini kontrolera i računala ugrađuju se media konverteri koji pretvaraju električni signal u svjetlosni i obrnuto. Na taj način informacije se mogu slati svjetlovodom. Kontroler ima 10, odnosno 20 programabilnih izlaza, ovisno o kojoj verziji kontrolera se radi. Izlazi šalju signale na sustav za dojavu požara opće primjene i to na ulazne module ili releje koji su ugrađeni u centrali. Sustav radi tako da izlazi šalju signale na sustav za dojavu požara opće primjene i to na ulazne module ili relejne pločice ugrađene u centrali. U svakoj požarnoj zoni koja je definirana na optičkom kabeu pridodaje se jedan izlaz. Još dva izlaza podešavanju se tako da jedan šalje signal u slučaju prekida optičkog kabela, a drugi u slučaju kvara kontrolera.

4.7. Integracija sustava za automatsku dojavu požara s ostalim sustavima



Sustav za automatsku dojavu požara u svom radu i pri detekciji požara djeluje na niz sustava za sigurno odvijanje prometa.

Sustav integracije za automatsku dojavu požara naručito djeluje na:

1. ventilacijski sustav tunela,
2. promjenjive prometne znakove,
3. upravljački i sigurnosni uređaj prometne signalizacije, rasvjete te sustava za vođenje,
4. sigurnosnu rasvjetu tunela,
5. svjetleće SoS uređaje,
6. rasvjetu tunelskih niša,
7. rasvjetu hidrantskih niša,
8. sustav videonadzora,
9. sustav ozvučenja.

Navedeni sustavi zajedničkom integracijom osiguravaju funkcioniranje sustava u normalnim uvjetima i u uvjetima kada dolazi do izvanrednih situacija. U daljnjem nastavku bavit ćemo se analizom sustava koji su važni za zaštitu ljudi i imovine.

4.7.1. Upravljanje pomoću pridodanih sustava

U daljnjem dijelu baviti ćemo se organizacijom sustava pomoću njegovih pridodanih podsustava i nivoa organizacije. Cijeli sustav nadzora i upravljanja tunelima sastoji se od više podsustava koji su objedinjeni na integralnom nivou. Prometni podsustav i integralni nivo reagiraju na sljedeće signale:

1. signal vatrodojave,
2. alarm s kamere,
3. alarm otvaranja SoS niša,
4. alarm kritične količine ugljičnog monoksida,
5. alarm kritične razine vidljivosti.

Svi sustavi objedinjeni su u integralnom programskom sustavu, preko kojeg je moguće u potpunosti ili djelomično upravljanje s istim, dok je neke jedino moguće nadgledati. Programabilne reakcije su poluautomatske, odnosno sve reakcije mora još dodatno potvrditi i operater. Operater može odabrati neku od pred definiranih akcija, a po odabiru akcije, koja djeluje na prometnu signalizaciju i ostale pridodane sustave, operater je dijalog potvrde. Na slici 13. možemo vidjeti prikaz kako izgleda integrirani programski sustav.

Slika 14. Prikaz integriranog programskog sustava.

4.7.2. Organizacija integralnog programskog sustava

U programski podsustav ugrađeni su i drugi pod-sustavi koji nam omogućuju još bolji nadzor. U te sustave spadaju :

- a) prometni pod-sustav,
- b) SDV pod-sustav (obuhvaća sustav ventilacije, mjerenje koncentracije plinova, vidljivost i strujanje zraka, elektroenergetski sustav, rasvjetu, vodospremu, signale SOS niša),
- c) pod-sustav telefonije,
- d) pod-sustav automatske detekcije incidenta (automatskom obradom slike),
- e) videonadzor,



- f) sustav vatrodojave.

Sustavi integrirani u programu " topXview". Dok nekim sustavima upravljamo samostalno, druge sustave možemo samo nadgledati.

Sustavi kojima možemo upravljati su :

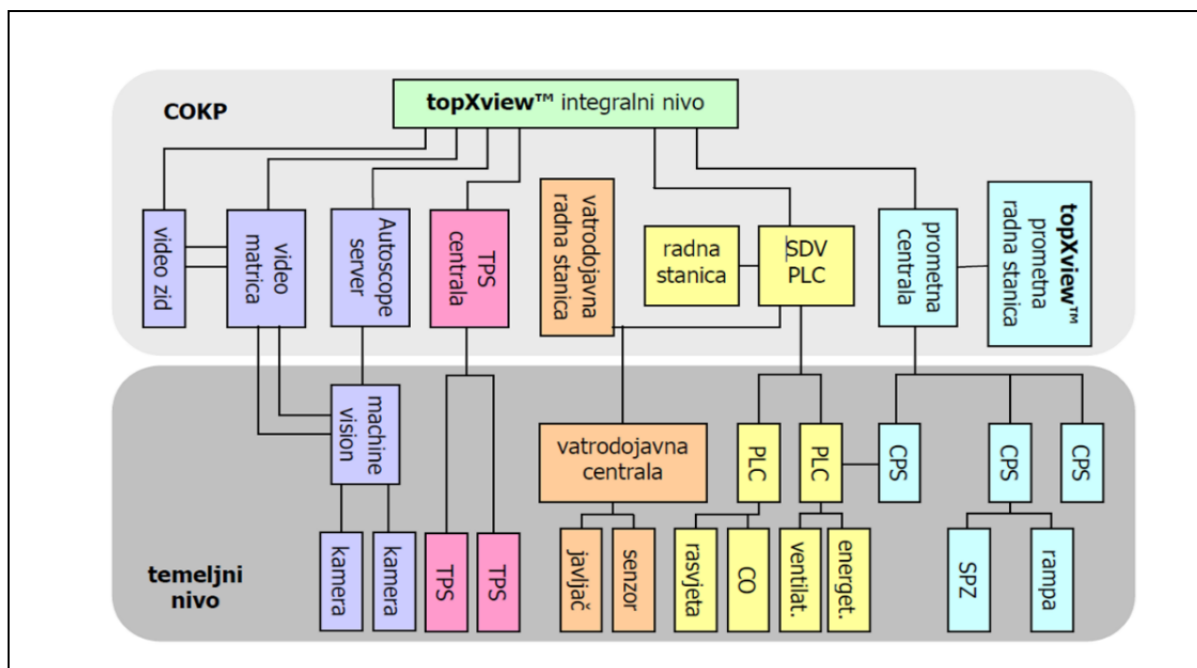
- a) prometni pod-sustav – šalje naredbu preko prometne centrale,
- b) sustav telefonije (TPS) – kojim se upravlja preko TPS centrale,
- c) videonadzorni sustav – upravlja se preko video-matrice, kamerama koje se prikazuju na području video-zida.

Sustav daljinskog vođenja je samo djelomično upravljiv, tj. u određenim situacijama se upisuju podaci u neke registre PLC-a što izaziva pokretanje nekih od unaprijed isplaniranih scenarija ili reakcija. A sve ovisi o njegovoj konfiguraciji i algoritmima. Sustavom vatrodjave se ne upravlja pa njega samo pratimo i nadgledamo.

4.7.3. Nivo integracije programskog sustava

Postoje dva nivoa integracije programskog sustava, a to su temeljni i centralni (COPK). Temeljni nivo integracije je povezivanje među komponentama različitih podsustava. To je ostvareno direktnom komunikacijom PLC-ova i prometnim sustavom. Tako se osigurava brza i autonomna reakcija i kritičnim situacijama, zato se koristi samo kod vatrodjave. U centralnom dijelu integracija se vrši preko integralnog nivoa " topXview " i na njega su spojeni svi podsustavi a kako to izgleda vidimo na slici 15. U centralnom nivou postoje automatizeri koji mogu reagirati na bilo koji signal, a zatim upućuju naredbe upravljanim podsustavima, te komuniciraju s operaterom.

Slika 15. Integracijski sustav TopXview.



4.8. Ventilacija u tunelima

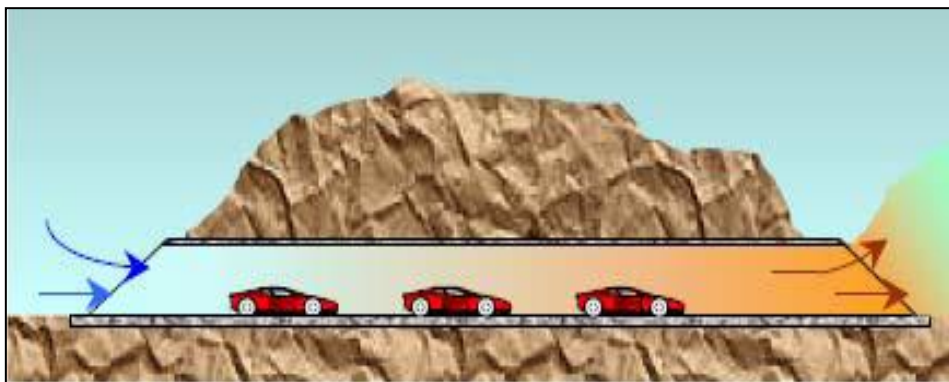
Ventilacija se u svakodnevnom radu koristi radi smanjenja koncentracije otrovnih plinova te radi održavanja stalne atmosfere u tunelu. Propisanim standardima opisani su: ventilatori, mogućnost upravljanja, točan raspored i maksimalni dopušteni nivo zagađivača. Standardi su prihvaćeni u praksi kao takvi. Kriteriji za rad ventilacije u slučaju požara dani su iz stručnih i znanstvenih radova te iz niza normi i propisa.

4.8.1. Vrste ventilacijskih sustava u tunelima

Postoje razne vrste ventilacije tunela, stoga postoje i razne izvedbe ventilacijskih sustava. Ventilacija ovisi i o načinu prometa (jednosmjerni – dvosmjerni), dužini tunela (tuneli do i preko 500 m) te o mogućnosti građevinske izvedbe.

4.8.1.1. Prirodna ventilacija u tunelima

Prirodna ventilacija rezultat je meteroloških uvjeta (temperatura zraka na portalima, razlika tlaka zraka na portalima, vjetar i dr a kako to izgleda vidimo na slici 16. Isto tako na ventilaciju mogu djelovati i nadmorska visina, konfiguracija tla i intenzitet prometa [3]. Ipak prirodna ventilacija je nesigurna i ne može osigurati zaštitu u slučaju požara.

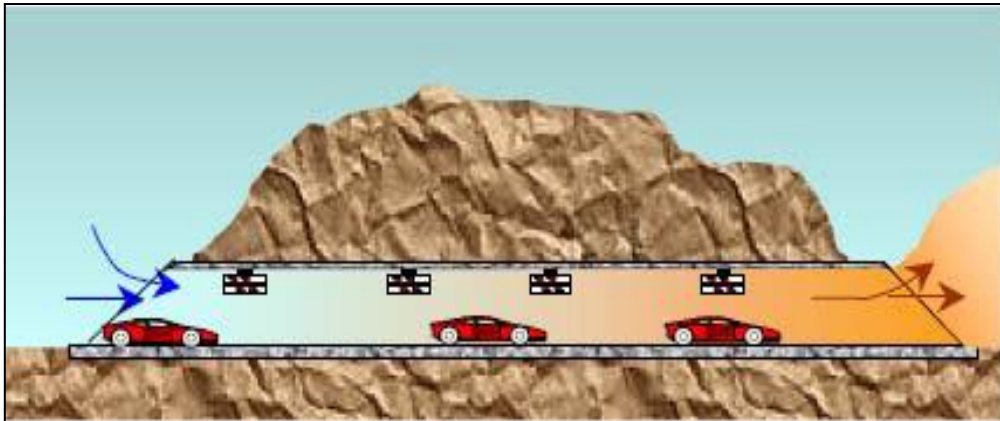


Slika 16.
Prirodno

provjetravanje tunela.

4.8.2.2 Uzdužna ventilacija u tunelima

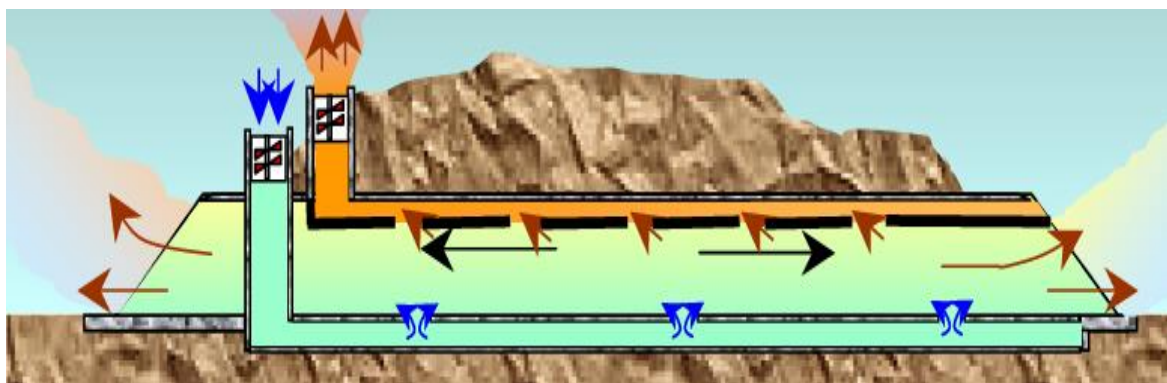
Uzdužna ventilacija je sustav kod kojeg se zrak utiskuje ili isisava iz tunela na ograničenom broju točaka . Tako nastaje uzdužni protok zraka kroz tunel. U slučaju požara dim se isisava kroz portale kroz cijeli tunel. Uzdužna ventilacija pogodna je za jednosmjerni promet s malom gustoćom prometa, u slučaju kada su vozila ispred mjesta požara zaštićena uzdužnim strujanjem zraka, pod pretpostavkom da vozila koja se nalaze niz struju od mjesta požara mogu slobodno pobjeći. Isto tako uzdužni ventilacijski sustavi s reverzibilnim ventilatorima imaju dva nedostatka. Prvi nedostatak je da se uzdužni protok ne može zaustaviti sve dok ventilatori rade u bilo kojem smjeru. Kapacitet isisa je obično 70 % tlačnog kapaciteta ako rade u obrnutom smjeru. Drugi nedostatak je nemogućnost zadržavanja dima i pare u bilo kojem prostoru. Zbog toga se pomiču prema zarobljenim vozačima. Postavljanje predimenzioniranih ventilatora kod kojih protok zraka može biti obrnut u slučaju nužde ne rješava problem uzdužnog protoka, budući da se produkti izgaranja isisavaju kroz otvore namijenjene pred definiranim protoku. Zbog svoje jednostavnosti i prihvatljive ekonomske ovisnosti uzdužna ventilacija je najčešći odabir za ventiliranje tunela. Na slici 17 vidimo uzdužni sustav provjetravanja s ventilatorima na stropu.



Slika 17. Uzdužni sustav provjetravanja s ventilatorima na stropu.

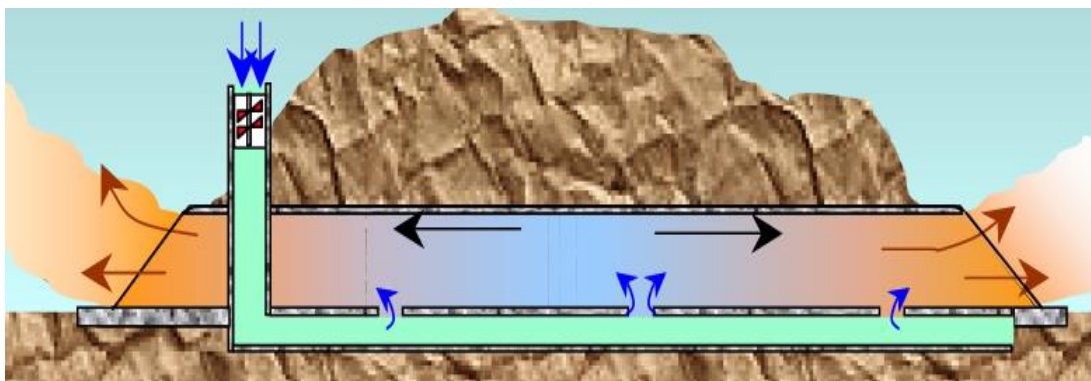
4.8.2.3. Poprečna i polu poprečna ventilacija u tunelima

Kod poprečne i polu poprečne ventilacije postoji više vrsta različitih izvedbi. Poprečna ventilacija radi tako da ubacuje svježi zrak u slučaju normalnog rada kroz dovodni kanal u podu, a zagađeni zrak se odvodi kroz odvodni kanal u stropu tunela i to se vrši na više usisnih i odsisnih dionica. Nedostatak poprečne ventilacije dovodi do nemogućnost izvedbe ukoliko konfiguracija terena to ne dopušta, a isto tako podiže troškove izrade. Slika 18. prikazuje kako izgleda sustav poprečne ventilacije.



Slika 18. Sustav poprečne ventilacije.

Upravljačkim jedinicama predviđeno je automatsko uključivanje rada ventilatora radi smanjenja smanjene vidljivosti u tunelu. Kontrola ugljičnog monoksida i smanjenja vidljivosti vrši se na više mjernih mjesta. Podaci se nakon mjerenja prenose do centralnog mjernog uređaja ventilacije. A zatim do komandnog centra, gdje se obavlja automatsko uključivanje i puštanje u pogon pojedine grupe ventilatora. Na slici 19. možemo vidjeti kako izgleda polu poprečna ventilacija tunela.



Slika 19. Polu poprečna ventilacija tunela.

4.8.2. Ventilacija za kontrolu požara i dima

Ventilacija je vrlo važna pri kontroli razvoja požara u tunelu, odnosno pri kretanju i kontroli širenja dima. U slučaju požara u tunelu, sustav za automatsku dojavu požara na temelju dobivenih informacija uključuje požarni režim rada ventilacije. Zahtjev koji dobiva automatski sustav za dojavu požara, ovisno o meteorološkim prilikama i prirodnom strujanju zraka (koje može biti znatno iznad 1,5 m/s koliko je inače predviđeno) može zatražiti zaustavljanje rada ventilatora na vrijeme do 8 minuta. Ukoliko taj scenarij nije moguć, sustav će zahtijevati rad rubnih ventilatora u suprotnom smjeru od prirodnog strujanja zraka da bi se smanjila brzina prirodnog strujanja na navedeni iznos do trenutka kada je evakuacija obavljena. Algoritam upravljanja ventilacijom mora u slučaju požara biti unaprijed definiran i softverski obrađen, kako bi se u slučaju požara moglo što brže reagirati. Na slici 20. vidljivo je kako izlazi dim iz tunela prilikom požara.



Slika 20. Izlazak dima prilikom požara u tunelu

U požarnom sustavu zadaća ventilacijskog sustava je uz strop tunela, u prvoj fazi gašenja odnosno provođenje odgovarajuće evakuacije osoba, uspostaviti stratifikaciju dima. U tunelima se ugrađuje sustav uzdužne reverzibilne ventilacije s impulsnim, aksijalnim ventilatorima, ekvidistantno smještenih u grupi po dva u vrhu tunela. Ovisno o njihovoj dužini u tunele se ugrađuje potreban broj ventilatora koji osigurava u svim prometnim i vremenskim uvjetima nisku koncentraciju ugljičnog monoksida, dobru vidljivost te požarni režim rada ventilatora. Ugrađeni ventilatori su reverzibilni, te se pomoću njih u tunelu može mijenjati strujanje zraka prema jednom od portala. Tj, to ovisi o trenutnim meteorološkim prilikama ili u slučaju požara, o mjestu nastanka požara. Impulsni ventilatori projektirani su za rad pri povišenoj temperaturi od 250 °C, u vremenu od 90 minuta, koju proizvođač dokazuje odgovarajućim certifikatom koji je priznat od nadležne ustanove, a takav ventilator možemo vidjeti na slici 21. Uz ventilatore sustav obuhvaća i upravljački sklop za pokretanje ventilatora, senzorske sklopove za mjerenje koncentracije ugljičnog monoksida, senzore za mjerenje vidljivosti, uređaje za mjerenje smjera i brzine strujanja zraka u tunelu. Odnosno preko kontrolno upravljačkih programabilnih logičkih upravljača vrši upravljanje, tj. pokretanje potrebnog režima rada ventilatora. Kabeli kojima se vrši napajanje ventilatora moraju biti otporni na požar od F-90 prema RVS smjernicama. Razdijelnici kojim se obavlja upravljanje ventilatora moraju izdržati temperature od 250°C u tranjanju od 90 minuta i biti ispitani prema HRN N.K5.503 normama. Kabeli za mjerenje i upravljanje ventilatorima koji su položeni izvan kabelskog kanala u tunelu moraju imati teško gorivu i nehalogenu izolaciju. Prema rezultatima dostupnih studija, eksperimentalnih istraživanja i recentnih ispitivanja možemo zaključiti da ventilacijski sustav može biti vrlo važan činilac kod požara, ako je konstrukcija izvedena da se maksimalno može iskoristiti. U studijama su istaknute mjere koje su prikladne za rad u slučaju požara:

1. Uzdužni protok mora biti ubrzo zaustavljen ukoliko se ustanovi da je došlo do požara.
2. Održavanje granice između dima i zraka je neophodna radi preživljavanja osoba koje su ostale zarobljene u automobilima ispod dimnog sloja. Bilo koji dovod zraka koji nije ispod ili na razini vozila, prouzročiti će turbulenciju u prostoru i tako poništiti sve mjere održavanja dimnog sloja iznad čistog zraka. Dok će dovod zraka ispod ili iznad razine vozila u potpunosti iskoristiti toplinsku energiju požara i neće doći do nakupljanja dima u nivou prometnice.

3. Dijelovi sustava za ekstrakciju moraju biti sposobni raditi određeno vrijeme pri temperaturi izgaranja preko 250°C.
4. Da bi se uspostavili gornji uvjeti, upravljanje i usmjerivači moraju imati dovoljnu fleksibilnost pouzdanost i brzinu.
5. Sustavi za dojavu požara moraju imati zadovoljavajuću osjetljivost da bi se omogućilo onome tko upravlja da prihvati i odredi mjesto požara i tako omogućiti što bržu intervenciju u slučaju požara.

Ventilacijski sustav koji je napravljen na gore opisan način izvući će toplinu i dim s požarišta, time smanjujući opasnu zonu na prostor između požara i točke ekstrakcije. To navedeno područje bit će

dimom,
 pravilnim
 ekstrakcije
 vozačima
 vatrogascima
 suzbijanje



ispunjeno
 međutim
 izborom točaka
 dopustit će
 evakuaciju a
 pristup i
 požara.

Slika 21. Impulsni tunelski ventilator.

4.8.3. Karakteristični požar za projektiranje ventilacije i otpornosti konstrukcije tunela

Projektiranje ventilacije se temelji na količini toplinske energije koja se oslobađa u požaru ili brzini širenja dima. Projektiranje konstrukcije tunela, u odnosu na otpornost prema požaru, ovisi o porastu temperature zraka u određenom vremenskom periodu [2]. Prema pokusima

koji su dosad izvedeni najveća temperatura ispod stropa tunela ovisi o vrsti prometnih sredstava i varira od 400°C za osobni automobil, do 1200°C za auto cisternu sa benzinom. Nakon prvih 10 minuta temperatura se ubrzo povećava na 1200°C. Za zaštitu vanjske tunelske obloge koriste se materijali koji zadovoljavaju tražene uvjete u određenom vremenskom periodu uz odabranu karakterističnu krivulju požara. U to spadaju unutarnja betonska obloga određene debljine, protupožarna žbuka, silikatne ploče i slično.

4.9. Sustav rasvjete u tunelima

Dobro izveden sustav rasvjete sadrži prikladan intenzitet svijetla, razdjeljine i segmentirane strujne krugove, osiguranu opskrbu, umanjuje broj prometnih nesreća, broj izvora paljenja i u tom smislu pridonosi zaštiti od požara. U slučaju požara opasnih tvari normalna rasvjeta ima mali učinak. U tom slučaju stropna rasvjeta će biti zatamnjena dimom, tako da svi naponi koje smo učinili da osvijetlimo tunel i učinimo otpornom na požar neće imati prevelikog utjecaja. Rasvjeta se mora izvesti na način da osigurava primjerenu vidljivost danju i noću u zoni izlaza i ulaza u tunel, a isto tako i u unutrašnjosti tunela. Ispred i iza tunela ugrađuju se mjerači intenziteta svjetlosti, koji služe za određivanje svjetlosti u prilagodnim zonama. Na snagu svjetlosti utječe doba dana i vremenske prilike. Prilagodnu rasvjetu moraju imati svi tuneli bez obzira na veličinu a kako izgleda svjetlosna zona adaptacije vidljivo je na slici 22. Rasvjeta u tunelima se postavlja u sljedeće zone:

- a) prilazna zona tunelu duljine od 50 – 200m,
- b) ulazna zona u tunel – najveća jakost rasvjete,
- c) prolazna zona – jakost rasvjete se smanjuje,
- d) srednja zona – najmanja jakost rasvjete,
- e) izlazna zona – jakost rasvjete se povećava.

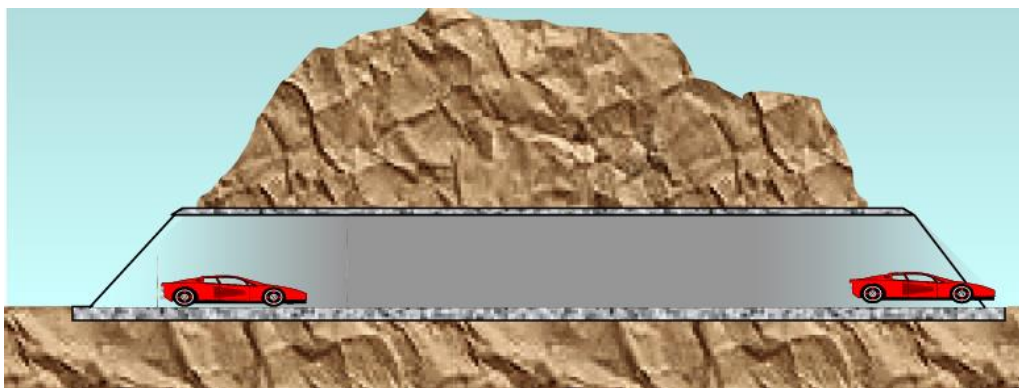
Prema načinu rasvjete tuneli se mogu podijeliti u tri skupine: kratki (do 100m), srednji (100 – 400m), dugi (dulji od 400m).

Slika 22. Prikaz svjetlosne zone adaptacije.

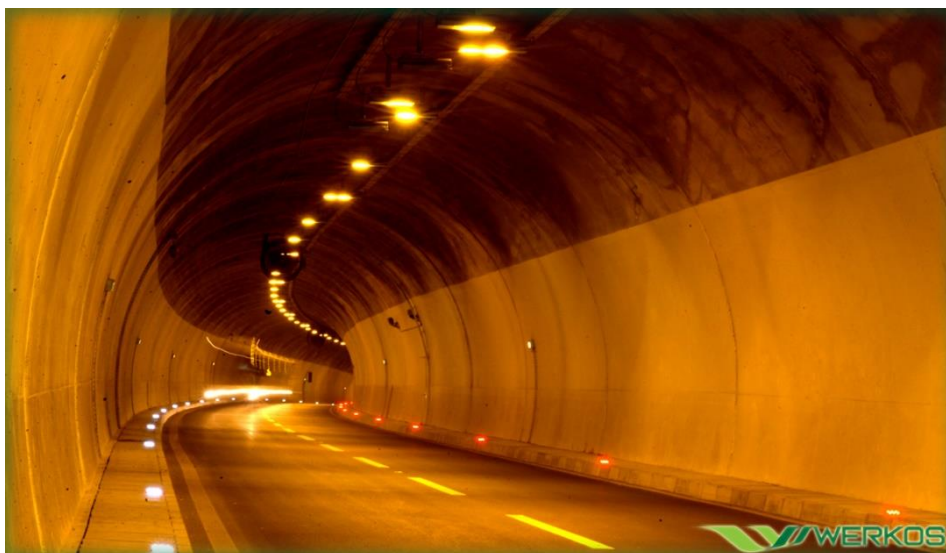
U tunelima su izvedene dvije vrste rasvjete, prva je opća rasvjeta koja osvjetljava tunel u normalnom radu koja je vidljiva na slici 23. , a druga je rasvjeta u slučaju nestanka mrežnog napajanja i protupožarna rasvjeta koja nam omogućuje siguran izlaz iz tunela. Sigurnosna rasvjeta izvedena je na način da :

- a. pomoćna rasvjeta kod koje se pali svaka treća svjetiljka kod nestanka mrežnog napajanja,
- b. rasvjeta za oznaku smjera izlaska iz tunela koja ima vlastiti rezervni izvor napajanja,
- c. rasvjeta za tunelske niše, SoS znakove, te tunelske znakove.

Električna instalacija u tunelima izvedena je u stupnju mehaničke zaštite IP 65 i IP 54, čime je



omogućeno da se požar gasi vodom i da tako nema utjecaja na električne instalacije. Uključivanje i isključivanje rasvjete moguće je daljinski iz COKP, preko sustava daljinskog upravljanja i lokalno iz razdjelnika rasvjete smještenih u tunelske niše. Lokalno upravljanje možemo ostvariti ručno ili automatski pomoću procesora koji osigurava točno koordinirano djelovanje svih elemenata instalacije u sigurnim i izvanrednim uvjetima. Svi kabeli za rasvjetu koji su priključeni na rezervni izvor napajanja i kabeli rasvjete oznake za



signalizacije rasvjetnih puteva, a koji su položeni izvan kablenskog kanala u tunelima izvedeni su da izdrže temperaturu od 250°C u trajanju od 90 minuta, te da imaju bezhalogenu zaštitu izolaciju određene otpornosti na požar. Sigurnosne svjetiljke za označavanje evakuacijskih puteva i svjetiljke pomoćne rasvjete moraju zadržati funkcionalnost u trajanju od 90 minuta na temperaturi od 250 °C i zadovoljiti stupanj mehaničke zaštite IP64. Tunelsku rasvjetu prema austrijskim smjernicama RVS. 9.282. točka 9.8. treba priključiti na rezervni izvor napajanja električnom energijom, tako da je kod ispada napajanja iz mreže osvijetljeno s jednom svjetiljkom područje kod telefonskih niša i četvrtina dijelova između telefonskih niša. Rasvjetu poprečnih okana treba priključiti na rezervni izvor napajanja, s time da razmak priključnih svjetiljki iznosi najviše 25 metara. Na rezervni izvor napajanja treba priključiti rasvjetu unutar telefonske niše kao i rasvjetu pogonskih prostorija gdje borave osobe za rukovanje i rasvjetu kontrolne prostorije, te nužne rasvjete za evakuaciju i bijeg. Navedena rasvjeta priključena je na rezervni izvor napajanja koji osigurava rad navedenih trošila dva sata.

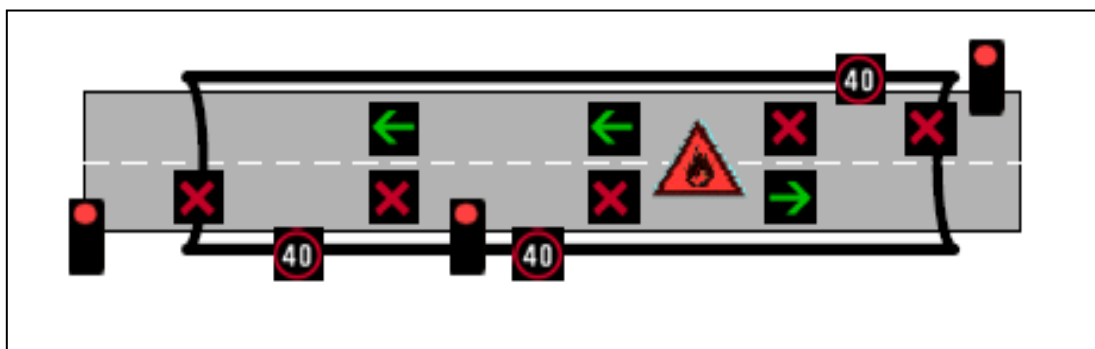
Slika 23. Tunelska rasvjeta.

4.10. Prometna signalizacija u tunelima

Putem statičke i dinamičke prometne signalizacije obavještavaju se i upozoravaju sudionici u prometu o stanju u tunelu, te se na taj način postiže sigurnije i učinkovitije odvijanje prometa. U uvjetima požara sve informacije se prosljeđuju prometnom sustavu, kako bi se ostvarilo upravljanje prometnom signalizacijom. Tunnel se u tom trenutku zatvara za promet u smjeru mjesta požara, dok je promet dozvoljen od mjesta požara prema izlazu iz tunela a kako to izgleda vidimo na slici 24. Nakon pojave alarma vatrodojave bez odgode, kao i potvrde alarma s odgodom, alarmni signal prosljeđuje se sustavu daljinskog vođenja i prometnom sustavu. Iz COKP-a se vrši automatska prilagodba prometne signalizacije na način da osigura što sigurniji izlazak iz požara zahvaćenim djelom tunela i da spriječi dolazak drugih vozila.

Slika 24. Skica zatvaranja tunela prilikom požara .

U sklopu dinamične prometne signalizacije dolazi do promjena odnosno uspostave



odgovarajućih prometnih planova. Upozorenja se pojavljuju na znakovima za regulaciju brzine, smjeru kretanja, znakovima posebnih opasnosti, kao i na ulaznim rampama u tunel.

5. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

5.1. Postupci operatera u COKP prilikom požara u tunelu

Ukoliko dođe do alarmiranja sustava za dojavu požara ne mora nužno značiti da je alarmno stanje i da je došlo do požara u tunelu. Upravo zbog takvih situacija definirano je vrijeme koje operater ima za provjeru sustava, prije izvršavanja izvršnih sustava i zatvaranja tunela i evakuacije ljudi koji se u tom trenutku nalaze u tunelu. Ukoliko dojava alarma dolazi sa optičkih javljača i OTS sustava, operater je dužan potvrditi informaciju u roku od 15 sekundi, dok kod alarmiranja ručnim javljačem ta odgoda ne postoji. Ako signal nije potvrđen, signal se prenosi na SDV, odakle on preko svog programa izvršava funkciju ovisno u kojoj je zoni alarm. Kada operater potvrdi alarm ostane mu još 3 minute vremena kako bi provjerio točnost informacije provjerom temperature na optičkom kabelu OTS sustava i putem video nadzora vidio krizno područje. Ukoliko se ustanovi da je alarm lažni, operater ga može poništiti preko sustava MM 8000, a u koliko se opet pojavi može se ta zona isključiti, kako bi se kvar otklonio. U slučaju kada je alarm stvaran signal se proslijeđuje sustavu daljinskog vođenja i prometnom sustavu. Signal koji dolazi pokreće algoritam u sustavu SDV-a koji automatski mijenja prometnu signalizaciju u skladu sa projektom. Isto tako obaveza operatera je da obavijesti vatrogasce, policiju i medicinsku hitnu službu.

Opis reakcije sustava je sljedeći:

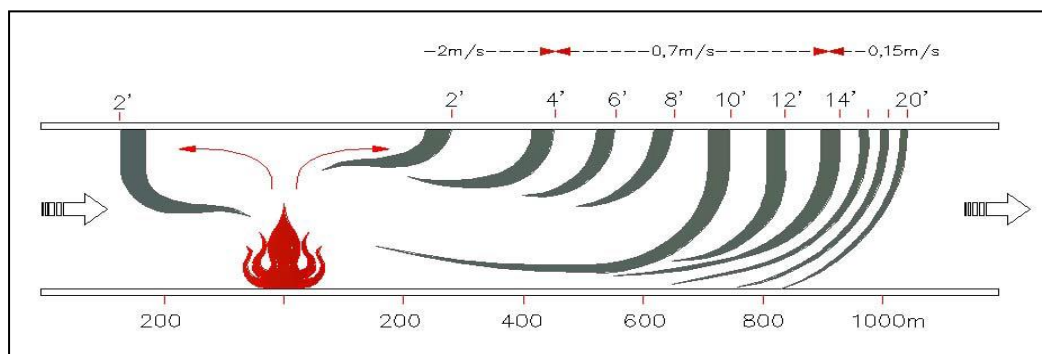
- a) signali voznog traka koji vode prema mjestu požara postavljaju se na " zatvoreno ",
- b) svi semafori koji vode prema mjestu požara postavljaju se u " crveno ",
- c) svi promjenjivi znakovi ograničenja brzine koji vode prema mjestu požara postavljaju se na najniže ograničenje brzine,
- d) električne baklje na portalima tunela koje se nalaze na putu prema mjestu požara, spuštaju se s vremenskim pomakom od 7-10 sekundi iza paljenja crvenog svijetla na semaforima,
- e) sva prometna signalizacija koja vodi do mjesta požara prema izlazu tunela ostaje u zatečenom stanju.

Na integralnom nivou, programski sustav " topXview " mijenja prikaz u alarmni mod i prikazuje kamere u vatrodojavnoj zoni u kojoj je vatrodojavna centrala prijavila požar[5]. Prometni sustav djeluje bez odgode i nema nikakve interakcije s operaterom. Ostali sustavi

kao što su ventilacija i rasvjeta reagiraju prema algoritmima koji su određeni projektom svakog podsustava zasebno.

5.2. Evakuacija i intervencija vatrogasaca

Gruba procjena stanja u tunelu kod evakuacije i intervencije vatrogasaca bila bi: vrijeme evakuacije može biti nekoliko minuta u ovisnosti od udaljenosti izlaza i brzine kretanja putnika. Normalna brzina pješaćenja do izlaza za nuždu j 1,5 m/s i može biti reducirana na 1,0 m/s zbog prisutnosti dima, dok temperatura zraka može biti do 80°C u trajanju do 15min. Osnovno ograničenje za uspješno provođenje evakuacije i spašavanje, odnosno za pravilnu i pravovremenu intervenciju vatrogasaca predstavlja propagacija dima koji se širi kroz tunel što je vidljivo na slici 25. Analizama prijašnjih požara i vježbama simulacije požara sistematizirani su zaključci koji se koriste u sklopu izrade proračuna ventilacijskog sustava.



Slika 25. Širenje dima u tunelu.

Zakonodavna vlast (legistativa) na području zaštite od požara u tunelima predvidjela je osnovne značajke za izvedbu tunela, odnosno osiguranje odgovarajuće razine sigurnosti, i to :

- izlazi u slučaju opasnosti ili prolaz prema drugoj cijevi tunela moraju osigurati sigurno napuštanje tunelske cijevi koja je ugrožena požarom i dimom,
- vrata na izlazima moraju biti otporna na požar i dovoljno zrako nepropusna,
- ulaz i izlaz moraju imati pločnik ili ograđeni nogostup ili izlaz s prometnice,
- korištenje prolaza mora biti omogućeno u bilo kojem slučaju, budući da promet kroz drugu cijev može biti lagan i uskoro zaustavljen zbog pojave požara u prvoj cijevi,

- e) vrata na evakuacijskim izlazima moraju biti označena odgovarajućim znakovima, a oznaka evakuacije u tunelu mora pokazivati na smjer i udaljenost do najbližih takvih vrata. Vrata moraju omogućavati lak pristup velikom broju zatečenih osoba.

Čimbenici za provođenje pravovremene evakuacije i spašavanje osoba iz tunela odnosno početak gašenja požara definirani su u nastavku:

- a) vrijeme evakuacije može trajati od 6 do 10 minuta, što ponajviše ovisi o brzini strujanju zraka u tunelu prije nastanka požara,
- b) izlazi za evakuaciju, odnosno ulazi u pješačke prolaze kojim se osobe evakuiraju iz tunela moraju biti posebno obilježeni da se omogući brzo prepoznavanje i uočavanje izlaza za spas,
- c) udaljenost izlaza za evakuaciju iz tunelske cijevi ili do izlaznog portala za evakuaciju na slobodan prostor mora biti između 500 do 600 metara, jer na udaljenosti od 600 metara od požara započinje padanje dima prema kolniku tunela i u tim uvjetima je evakuacija otežana ili nemoguća,
- d) stupanj toplinskog zračenja mora biti ispod granice kod koje se osjeća bol na goljoj koži kod izlaganja od nekoliko minuta. Baš iz tih razloga evakuacija mora biti obavljena u prvih 5 – 8 minuta dok požar nije dostigao svoj maksimalni intenzitet,
- e) najmanja vidljivost kod koje se još može obavljati evakuacija mora biti od 7,0 do 15,0 metara,
- f) otpadanje betona ne smije spriječiti evakuaciju i intervenciju vatrogasaca
- g) uređaji i dijelovi oprema ne smiju početi opadati dok je temperatura ispod 270°C što bi onemogućavalo obavljanje vatrogasne intervencije, jer temperatura proizvodi stupanj od $5,0 \text{ kW/m}^2$,
- h) mora biti dovoljan broj ventilatora i druge sigurnosne opreme koji moraju izdržati povišenu temperaturu, dovoljno dugo da se može kontrolirati dim za vrijeme evakuacije i intervencije vatrogasaca,
- i) toksičnost plinova koji nastaju kod požara vozila bit će prema očekivanjima ispod ograničenja koji omogućava evakuaciju, ako se osigura minimalna vidljivost, budući da ne postoji pouzdana metoda proračuna toksičnosti plinova kod požara vozila,
- j) stupanj radijacije mora biti ispod ograničenja koji uzrokuje bol na goljoj koži kod izlaganja od nekoliko minuta i koji grubo iznosi od 2 – $2,5 \text{ kW/m}^2$.

Operativno vrijeme vatrogasaca sa kisikom za disanje nije duže od 30 minuta.

Iz sveg ovog možemo vidjeti da osiguranje pravovremene evakuacije kao i odgovarajuća intervencija vatrogasaca ovisi o nizu čimbenika građevinskih, tehničkih i organizacijskih mjera zaštite od požara što sveukupno čini vrlo kompleksan sustav. Nad tim kompleksnim sustavom nužno je provoditi odgovarajuće preventivne akcije tehničkog održavanja odnosno provoditi redovite vježbe svih učesnika radi utvrđivanja i otklanjanja mogućih nefunkcionalnosti.

5.3. Verifikacijske metode ispitivanja

Verifikacijska metoda se provodi kroz praćenje rada sustava u uvjetima realnog požara. Provedenim vatrogasnim vježbama utvrđeni su uvjeti realnog požara, pravovremene detekcije, te kao posljedice do kojih može doći u slučaju požara u tunelima. Tijekom vježbi provodi se i ispitivanje i testiranje sustava za automatsku dojavu požara u tunelima. Kako izgleda požarna vježba u tunelu možemo vidjeti na slici 26.

Provjerom rada sustava potrebno je utvrditi funkcionalnost :

1. prijenos zonskog alarma, kao izabranog alarma sustavu daljinskog upravljanja,
2. pravovremeno alarmiranje u nadzornom centru COKP na radnoj stanici sustava vatrodojave.

Sukladno navedenoj smjernici propisana su osnovna pravila testiranja koja se koriste kod provjere sustava:

1. goriva smjesa koja se sastoji od 20 litara dizelskog goriva i 5 litara benzinskog goriva, postavlja se u tave dimenzija 100 x 100 cm, na visinu od oko 0,5m od tla, što predstavlja ekvivalent požarnog opterećenja od 3,5 MW,
2. brzina strujanja zraka u tunelu postavlja se na 3 m/s,
3. reakcija sustava vatrodojave mora biti u vremenskom roku od 150 sekundi.

5.4. Požarni scenarij u tunelima

Požarne vježbe u tunelima izvode se u dva požarna scenarija, i to kao simulacija zapaljenog vozila. Dva scenarija su zato što se uzima u obzir da nije isto ukoliko dođe do požara koju je izazvala autocisterna iz koje je iscurilo manje goriva ili ako je izazvan požar autocisternom iz



koje je veće istjecanje goriva. Stoga su vježbene akcije, tj. scenariji, zamišljeni kao 20 MW požar i 100 MW požar.

Slika 26. Požarna vježba požara u tunelu.

5.4.1. Prvi požarni scenarij

Kod prvog požarnog scenarija kao primjer uzimamo da je došlo do požara autocisterne s 30 000 litara benzina iz koje je iscurilo 110 litara goriva, i prije paljenja dolazi do propuštanja 90 l/min goriva. Propuštanje se nastavlja i prouzrokuje 20 MW požar.

Rezultat takvog scenarija je :

- a) plamen doseže strop tunela, a maksimalna očekivana temperatura u tunelu bit će ispod 500°C,
- b) ukoliko ne dođe do povećanja propuštanja požar će trajati oko 5 sati,
- c) brzina kretanja dimnog sloja bit će oko 200 m/min,
- d) temperatura u tunelu će biti oko 50°C na 200 metara od nastanka požara.

5.4.2. Drugi požarni scenarij

Kod drugog požarnog scenarija za primjer uzimo autocisternu s 30 000 litara benzina, iz koje je iscurilo 700 litara goriva prije paljenja kod propuštanja 450 l/min goriva. Propuštanje se nastavlja i prouzrokuje 100 MW požar.

Rezultat takvog scenarija je:

- a) plamen doseže strop tunela i širi se oko 120 m od mjesta požara u smjeru ventilacije. Maksimalna očekivana temperatura doseže do 1100°C,
- b) požar će trajati oko 80 minuta,
- c) kretanje dimnog sloja biti će oko 380 m/min,
- d) temperatura u tunelu u smjeru kretanja dima biti će na udaljenosti od 350m veća od 500°C,
- e) temperatura u tunelu bit će oko 50°C na 950 metara od nastanka požara.

U oba ova slučaja, svi ljudi koji se u tom trenutku nalaze u tunelu bit će ugroženi. Ljudi koji ulaze u tunel i oni u tunelu ispred mjesta nezgode bit će u izrazitoj životnoj opasnosti. Osobe koje se u tom trenutku nalaze u svojim vozilima moći će se spasiti jer je brzina vozila veća od brzine kretanja dimnog sloja.

5.4.3. Mogućnost nastanka eksplozije

Pare koje nastaju hlapljenjem lako zapaljivih tekućina klase 1, predstavljaju potencijalnu opasnost od nastanka eksplozija. Ta opasnost je osobito izražena ako propuštanje nema za posljedicu požar koji će " potrošiti " gorive pare, čime se pare skupljaju u tunelu. Moguće je da predhodno vatrogasci ugase požar, ali gorivo koje ostaje nakon požara može ispariti i eksplodirati dok su vatrogasci još na požarištu. Ukoliko nastane požar koji je nastao paljenjem takve smjese, može se zrakom širiti brzinom većom od 2000 m/s i ukoliko dođe do eksplozije premašiti desetke bara. Uslijed brzog širenja plamena, koji premašuje brzinu zvuka, nastaje detonacija koja izaziva trajno oštećenje tunela. Eksplozivni potencijal zapaljivih tekućina klase II i III može se smatrati beznačajnim, osim ukoliko su izložene djelovanju požara koji ih tada zagrije na temperaturu koja premašuje njihovu točku zapaljenja. U koliko dođe do eksplozije i požar posljedice za tunel mogu biti katastrofalne, što se može vidjeti na slici 27. Najveća pogibeljna opasnost od požara u tunelu sadržana je u činjenici što maksimalno postignuta temperatura, tj. krivulja požara, nastane vrlo brzo – u roku od 10 minuta. Stupanj te topline iznosi 1100 - 1200°C, ovisno o vrsti i količini vozila. U pogledu prisutnih vozila u tunelskim požarima koja sadrže određenu količinu zapaljivih tekućina u spremnicima, a poglavito ako se u požaru zatekne auto cisterna s većom količinom zapaljivih fluida ili sa posudama pod pritiskom, valja podsjetiti na posljedicu djelovanja topline na plinove, koji se šire uz proporcionalno povećanje pritiska.



Slika 27. Izgled tunela nakon požara i eksplozije.

5.5. Taktički nastup tijekom gašenja požara u tunelu

U ozračju gašenja požara u tunelu tijekom akcije prilagođen je trenutnoj situaciji. Nedvojbeno je potrebno za kombinirani nastup donijeti odluku s naglaskom na potencijalnim opasnostima. U takvu akciju se ne ulazi s malim ljudskim snagama, jer se brzo iscrpe, zbog obvezne primjene opreme za zaštitu organa za disanje i opreme protiv topline. Uz poštivanje pravila spašavanja, valja se usredotočiti isključivo na akciju izvlačenja unesrećenih iz požara, a daljnji postupak prepustiti ekipama medicinske pomoći. Vrstu taktičkog nastupa uvjetuje lokacija požara u tunelu. Tu ne može doći do pogreške jer je jedino, ako je moguće doći do samog žarišta tj. zapaljenog ili zapaljenih vozila, izvediv frontalni nastup. U pogledu lokalizacije požarišta obvezna je aktivna lokalizacija ukoliko ju je moguće izvesti. U većini slučajeva nazočna je pasivna jer je uvjetovana nastalom situacijom.

5.6. Sredstva za gašenje požara u tunelima

Imajući na umu vrstu i količinu gorive tvari, uvjete i produkte izgaranja, mogućnosti razvoja akcije i prateće opasnosti, izbor sredstava za gašenje požara u tunelu ne predstavlja poteškoće

za gasitelje. Može se gasiti vodom, prahom, pjenom a što uvjetuje zatečeno stanje razvoja požara, a poglavito toplina koja vlada u tunelu. Ti požari su u pravom smislu riječi specifični. Primjerice, ako jaki mlaz vode može na otvorenom prostoru uspješno pogasiti automobilske gume, taktičar zna da to ne može pri mjeniti u tunelu zbog visoke temperature na kojoj sredstvo za gašenje " doživi " termičku desocijaciju. Ako se uspije približiti prahom, unatoč dobrim učincima, nema oduzimanja topline. U međuvremenu požar ne čeka, bukti, plamti, razvijaju se plameni jezici i naglo se akumulira toplina. No nažalost, često gasitelji " nauružani " sredstvima za gašenje, čekaju ispred ulaza u tunel, jer im opisana osobitost takvih požara naprosto ne dopušta približavanje mjestu požara. Gasitelj jedino može bez problema ugasiti manji požar jer u tom slučaju se može približiti zapaljenom objektu a da nema većih posljedica

zdravlje, a izgleda slici 28.



na njihovo kako to vidimo na

Slika 28. Gašenje požara u tunelu.

Načelo ove taktike i taktičke primjene sredstava za gašenje požara je uporaba malih količina sredstava s velikim učinkom uspješnosti gašenja. To se postiže velikim povećanjem brzine putovanja sredstava za gašenje požara (432/720km/h) što se zna nazivati " topovsko gašenje " ili topovsko strijeljanje na požar. Uz ovaj čimbenik prisutna je i velika kinetička energija koja omogućava ili otvara put sredstvu za gašenje do centra žarišta. Taj proces odvija se u kratkim vremenskim intervalima. Primjerice pri upotrebi vode impulsivnom tehnikom stvaraju se veće količine mikro kapljica (od 2 – 200 mikrona) koje imaju izuzetno veliku površinu hlađenja, zbog velikog volumena sredstava za gašenje, kada principom ohlađivanja snižavaju temperaturu gorenja i time u razmjerno kratkom vremenu pogase požar. Valja istaknuti da je

najpouzdanije rješenje gašenja požara u tunelima tzv. mobilni sustav. Radi se o stabilnom sustavu gašenja, koji ima ugrađene pomoćne bacače (topove) za impulsno djelovanje. Uz sve ovo navedeno kao pomoć pri gašenju koristimo i ventilaciju. Pri požarnom načinu rada ventilacijskog sustava, za 58,1 m² tunelske cijevi potrebno je oko 35 000 m³/ min okolnog zraka. Taj volumen povećat će se radi potrebe ventiliranja u požaru oko četiri puta, na preko 140 000 m³/min produkta izgaranja pri 800°C. Mjerom hlađenja produkta izgaranja vodenim mlazom ohladiti će se protok i smanjiti volumen, ali će se istovremeno povećati za volumen vodene pare. 2000 l/m vode temperature 10°C spustiti će temperaturu produkta izgaranja s 800°C na 300°C, istovremeno smanjujući volumen na 75 000 m³/ min. Voda će dodati 4000 m³/min što će biti ukupno 79 000 m³/min. Dodatna voda može spustiti temperaturu i ukupni volumen na 100°C i 57 000 m³/min, ali će se zahtjevi za vodom povećati gotovo šest puta na 13 000 l/min. Dva sata takvog gašenja će ispariti 1 560 m³ vode, koja mora biti osigurana u spremnicima za vodu. Osim stacioniranih ventilatora mogu se još koristiti i mobilni ventilatori



koji se nalaze na vatrogasnim vozilima ili su to prikolice na kojima se nalazi veliki mobilni ventilator. Tim dodatnim mobilnim ventilatorima moguće je upuhivati još dodatnu količinu vodene pare. Na slici 29. vidimo mobilni ventilator koji se nalazi na prikolici.

Slika 29. Mobilni ventilator.

6. ZAKLJUČAK

Ovim radom se nastojalo dokazati da ako želimo zaštititi tunel od požara, veliku ulogu u zaštiti ima automatski sustav za dojavu požara u tunelima. Usprkos tehničkim dostignućima sustava, uočena je znatna potreba financijskih i operativnih ulaganja da bi sustav funkcionirao.

U sklopu rada dan je detaljan prikaz sustava za dojavu požara u tunelima sa svim pridodanim sustavima, odnosno njihova interakcija u svrhu provođenja uspješne evakuacije osoba iz tunela, odnosno osiguranja pravovremene vatrogasne intervencije i savladavanja požara.

Republika Hrvatska danas ima jedne od najsigurnijih tunela u Europi, a to dokazuju EuroTap-ovi istraživački rezultati o sigurnosti u tunelima, koji su se počeli provoditi nakon katastrofalnog požara u tunelu Mont Blanc 1999. godine.

Između ostalog možemo se pohvaliti da je kod nas nastao "topXview" sustav koji se koristi u Republici Hrvatskoj i Europi. Može se slobodno reći da se u Republici Hrvatskoj pridodaje velika pažnja u zaštiti tunela od požara.

Bez obzira koliko nam tuneli bili sigurni od požara, treba nastojati poboljšavati sustave dojave kako bi u što kraćem roku mogli reagirati. Kako je Republika Hrvatska turistička zemlja i koja u ljetnim mjesecima ima puno putnika koji se služe našim tunelima, vrlo je važno što se možemo pohvaliti da su naši tuneli sigurni za promet. I na kraju treba naglasiti da velika većina naših tunela zadovoljava pravila Europske unije o sigurnosti tunela.

7. POPIS LITERATURE

- [1]. Vrkljan, I.: *Podzemne građevine i tuneli*, Građevinski fakultet u Rijeci, 2003
- [2]. Drakulić M. : Djelovanje sustava uzdužne ventilacije cestovnog tunela u uvjetima požara, Zagreb 2006
- [3]. Krivošić Z. : Sustavi vatrodjave u cestovnim tunelima, 1. Bih kongres o cestama, Zbornik radova, Sarajevo 2007
- [4]. Lozica M. , Krivošić Z. : Tunel Sveti Rok – 1 faza, izvedbeni projekt vatrodjave i vatrozaštite, Dalekovod, Zagreb 2002
- [5]. Telefon gradnja: COKP Mala Kapela, Opis automatskih reakcija sustava, verzija 2,1 Topix View, 2005
- [6]. Siemens Swizerland Ltd: priručnik za upotrebu, MM 8000 MP3.15 centrala 2006
- [7]. Wikipedija http://hr.wikipedia.org/wiki/Za%C5%A1tita_od_po%C5%BEara
- [8]. Hak <http://www.hak.hr/sigurnost-u-prometu/projekti/eurotap/>
- [9]. Tehnički priručnik za zaštitu od požar 1997 – autori Milan Carević, Pavao Jukić, Zlatimir kaštelec, Zdravko Sertić
- [10]. Šimara B. Zaštita od požara u tunelima// časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, Godište, volumen i broj: 42 (2000) , 4 , str 363 -372
- [11]. Zakon o zaštiti od požara (NN58/93) <http://www.zakon.hr/z/349/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-po%C5%BEara>
- [12]. Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o zaštiti od požara (NN33/05) http://www.vatrogasni-portal.com/articles.php?article_id=51
- [13]. Pravilnik o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele NN broj 119/2009 <http://narodne-novine.nn.hr/sluzbeni/pregledRezultati.aspx?Broj=119&Godina=2009>
- [14]. Tehnomobil http://www.tehnomobil.hr/sustavi/dojava_i_gasenje_pozara_57/

- [15]. Proakustik <http://www.proakustik.hr/vatrodojava.php>
- [16]. Tim – kabel <http://www.tim-kabel.hr/content/view/159/249/lang,hrvatski/>
- [17]. Telegra <http://www.telegra-europe.com/>

POPIS SLIKA

Slika1. Slika nakon požar u tunelu Mont Blanc, Izvor: (<http://zejn.net/b/2011/08/13/avtoprevozniski-hlapci/>)

Slika 2. Konstrukcija optičkog svjetlovodnog kabela, Izvor: (Krivošić, Z.: *Sustavi vatrodjave u cestovnim tunelima* , 1. BH KONGRES O CESTAMA, Zbornik radova, Sarajevo, 2007)

Slika 3. Struktura kvarcnog stakla, Izvor: (<http://www.pecs.rs/elektroenergetika/monitoring-kablova.html>)

Slika 4. Područje montaže senzorskog kabela u tunelu, Izvor: (Krivošić Z. : *Sustavi vatrodjave u cestovnim tunelima*, 1. Bih kongres o cestama, Zbornik radova, Sarajevo 2007)

Slika 5. Primjer nadzora centralnog sustava, Izvor: (Krivošić Z. : *Sustavi vatrodjave u cestovnim tunelima*, 1. Bih kongres o cestama, Zbornik radova, Sarajevo 2007)

Slika 6. Blok shema sustava za zaštitu požara tvrtke ESSER, Izvor: (*Novar GmbH a Honeywell Company: Installation instruction, Fire Alarm Control Panel IQ8Control C/M, 2006*

Slika 7. Centrala za dojavu požara Algo Rex CI 1145, Izvor: (http://wm-sicherheitstechnik.de/Leistung/Sicherheitstechnik/Bandmeldetechnik/AlgoRex/CI_1145/ci_1145.html)

Slika 8. Analogno – adresabilni ručni javljač požara, Izvor: DM 1134 (<http://www.proakustik.hr/grupa-20/Analogno-adresabilni-javlja%EB8iphp>)

Slika 9. Analogno – adresabilni sistemski optičko termički detektor Simens DOT 1131A, Izvor: (Tehnomobil – privatna fotografija)

Slika 10. Analogno – adresibilni ulazni modul DC1131- AA, Izvor: (tehnomobil – privatna fotografija)

Slika 11. Kabel JE-H (st) HE30-E90 4x2x0,8mm, Izvor :(<http://www.tim-kabel.hr/content/view/287/373/lang,hrvatski/>)

Slika 12. Ekran sustava MM 8000, Izvor: Tehnomobil, privatna fotografija.

Slika 13. Kontroler senzorskog kabela OTS 100, Izvor: (http://www.lios-tech.com/leaflets/LIOS_Technology_Oil_Exploration_US.pdf)

Slika 14. Prikaz integralnog programskog sustava, Izvor: (<http://www.velegs-nikolatesla.hr>)

Slika 15. Integracijski sustav TopXview, Izvor: (<http://www.velegs-nikolatesla.hr/velges>)

Slika 16. Prirodno provjetravanje tunela, Izvor: (Vrkljan, I.: *Podzemne građevine i tuneli*, Građevinski fakultet u Rijeci)

Slika 17. Uzdužni sustav provjetravanja s ventilatorima u stropu, Izvor: (Vrkljan, I.: *Podzemne građevine i tuneli*, Građevinski fakultet u Rijeci)

Slika 18. Sustav poprečne ventilacije, Izvor: (Vrkljan, I.: *Podzemne građevine i tuneli*, Građevinski fakultet u Rijeci)

Slika 19. Polu poprečna ventilacije tunela, Izvor: (Vrkljan, I.: *Podzemne građevine i tuneli*, Građevinski fakultet u Rijeci)

Slika 20. Izlaz dima prilikom požara u tunelu, Izvor: (<http://www.rtl.hr/vijesti/novosti>)

Slika 21. Impulsni tunelski ventilator, Izvor: (http://www.ventilator.hr/tvus_tunelski.html)

Slika 22. Prikaz zone svjetlosne adaptacije, Izvor: (Vrkljan, I.: *Podzemne građevine i tuneli*, Građevinski fakultet u Rijeci)

Slika 23. Tunelska rasvjeta, Izvor: (http://www.werkos.com/upload/co_signalizacija_tunel)

Slika 24. Skica zatvaranja tunela prilikom požara, Izvor: (*Telefon-gradnja: COKP Mala Kapela, Opis automatskih reakcija sustava, verzija 2.1 TopxView, 2005*)

Slika 25. Širenje dima u tunelu, Izvor: (*Drakulić, M.: Djelovanje sustav uzdužne ventilacije cestovnog tunela u uvjetima požara, Zagreb, 2006*)

Slika 26. Požarna vježba u tunelu, Izvor: Tehnomobil – privatna fotografija

Slika 27. Izgled tunela nakon požara i eksplozije, Izvor: (<http://tunele.inzynieria.com>)

Slika 28. Gašenje požara u tunelu, Izvor: (<http://www.jutarnji.hr/nakon-sudara-u-tunelu-se-zapalio-auto/874578/>)

Slika 29. Mobilni ventilator, Izvor: (<http://www.mistar.hr>)

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tablica testiranih tunela od strane EuroTap-a 2009 godine, Izvor :
<http://www.hak.hr/sigurnost-u-prometu/projekti/eurotap/>

Tablica 2. Definicija pojmova MM 8000 sustava, Izvor: Tehnomobil